

l'ingénieur

Janvier / février 1987

N° 377

73^e année



Branchez-vous sur la plus importante banque de données techniques du Canada

L'ICIST gère la plus importante collection d'information scientifique et technique du pays. Grâce à un réseau d'experts en recherche documentaire au Conseil national de recherches, l'ICIST met à votre portée plus de 3 millions de livres, de comptes rendus de conférences, de rapports, de publications en série et de revues du monde entier.

L'ICIST offre notamment les services suivants :

- **Documentation en direct** — Le système CAN/OLE vous donne accès à plus de 40 bases de données et vous permet de trouver et de commander directement l'information au moyen d'un terminal distant.
- **Service automatique d'information permanente** — Le système CAN/SDI vous tient constamment informé dans votre domaine d'intérêt particulier.
- **Données numériques scientifiques** — Le système CAN/SND vous fait gagner du temps en vous fournissant des données numériques qui ont été évaluées par des experts.
- **Information médicale** — Le Centre bibliographique des sciences de la santé coordonne à l'échelle nationale l'accès à MEDLARS, le système de bases de données de la bibliothèque nationale de médecine des États-Unis dans les domaines de la médecine et de la toxicologie.

- **Service de référence** — Nos experts en information effectuent des recherches personnalisées de documents, vérifient des citations, dirigent les clients vers des experts et répondent à des questions générales dans les domaines de la science et de la technologie.

- **Répertoire des traductions scientifiques** — Fruit d'un effort collectif à l'échelle internationale, le Répertoire indique l'emplacement des traductions effectuées au Canada et dans plusieurs autres pays.

- **Service de prêts et de photocopies** — Les documents peuvent être commandés par téléphone, par courrier, par Téléx ou par courrier électronique; les livres sont prêtés gratuitement pour une période de deux semaines; pour un prix minime, on peut obtenir une photocopie d'un article d'une revue de la collection ou d'un document conservé sur microfiche.

Pour découvrir comment l'ICIST peut devenir votre plus important agent d'information, composez le (613-993-1600), transmettez un message à CISTI.INFO par l'intermédiaire du service ENVOY 100 ou retournez la formule ci-dessous à :

Section de la publicité et des communications
ICIST (Institut canadien de l'information scientifique et technique)
Conseil national de recherches
Ottawa (Ontario)
K1A 0S2



Conseil national
de recherches Canada

National Research
Council Canada

Canada

Veuillez me faire parvenir de plus amples renseignements sur les services suivants de l'ICIST :

- CAN/OLE — CAN/SDI — CAN/SND — Service de référence Centre bibliographique des sciences de la santé Répertoire des traductions scientifiques Service de prêts et de photocopies

Nom _____ Titre _____

Organisation _____

Adresse _____

Téléphone _____

Z

Éditeur

Les publications l'ingénieur inc.
Case postale 6980, succursale A
Montréal (Québec) H3C 3L4
Tél. (514) 340-4764

Conseil d'administration

Paul Major, président
Marcel Desjardins, vice-président

Comité exécutif

Guy Drouin, président exécutif
Jacques Lapointe, vice-président
Jean L. Corneille, vice-président
Serge R. Tison, secrétaire
Roger P. Langlois, trésorier
Yolande Gingras, directeur général

Administrateurs

Michel Bellerose
Adolphe Blach
Claude Bourgeois
Claude Brulotte
Roland Chevalier
Fernand DeSerres
Daniel Fleury
Roger Lessard
Ovide J. Poitras
Guy A. Sicotte
Christian Tessier
Jean-Claude Therrien
Jean Verdy

Directeur général

Yolande Gingras

Comité consultatif de rédaction

Gilles G. Bélanger, directeur
Joseph A. Bouchard
Dominique Chassé
Jules Delisle
Pierre Desrochers
Claude Gou
Jacques Lapointe
Raymond Leroux
Yves Lizotte
Paul-Edouard Robert
Georges Salloum

Rédacteur en chef

Joseph Kélada

Publicité

Robert Dumouchel
Publications R.A.D. enr.
605 rue Filiatrault
Suite 6
Saint-Laurent, (Québec) H4L 3V3
Tél. (514) 744-6019, 744-6162

Composition

Les Ateliers Chiora inc.
(514) 383-4320

Imprimeur

Presses Élite inc.
(514) 731-2701

Abonnements

Canada 15 \$ par année
Étranger 20 \$ par année
À l'unité 3 \$
Six (6) numéros par année

Droits d'auteurs

Les auteurs des articles publiés dans l'INGÉNIEUR conservent l'entière responsabilité des théories et des opinions émises par eux. Reproduction permise, avec mention de la source, on voudra bien cependant faire tenir à la Rédaction un exemplaire de la publication dans laquelle paraîtront les articles: Engineering Index, Biol., Che., Sci., Abstracts Periodex et Radar signalent les articles publiés dans l'INGÉNIEUR
— ISSN — 0020-1138

Courrier de deuxième classe

Enregistrement n° 5788

Sommaire

2 Techniques de mesure par ultrasons: une contribution québécoise

par Jean-Luc Dion

7 Le béton moderne: bien plus que du ciment

par Pierre-Claude Aïtcin

12 La technologie électro-optique au service du contrôle industriel de la production

par Paolo Cielo

18 La formation de l'ingénieur: une réflexion

par Camille Dagenais

19 Génie biomédical et biomatériaux

un tour d'horizon

22 Utilisation de la fibre de verre dans les structures du réseau extérieur

par N. Healy

Techniques de mesure par ultrasons: une contribution québécoise

Jean-Luc DION

Introduction

Dans leur laboratoire rudimentaire du début des années 1880, les physiciens français Pierre et Jacques CURIE ne pouvaient guère se douter des conséquences pratiques du curieux phénomène qu'ils venaient de découvrir, après l'avoir prédit à partir de considérations purement théoriques sur la symétrie des systèmes cristallins. Quand ils appliquaient une pression sur les faces opposées d'une lame de quartz recouvertes d'électrodes isolées, ils pouvaient mesurer entre celles-ci une différence de potentiel proportionnelle à la pression. Inversement, le quartz subissait une faible déformation quand une haute tension était appliquée aux électrodes. Sans doute ne voyaient-ils aucune utilité à court terme à l'effet piézo-électrique qu'ils révélaient au Monde. Il s'écoulera une trentaine d'années avant que leur compatriote, l'exceptionnel physicien et humaniste Paul LANGEVIN, y recoure pour résoudre un problème très pratique qui lui était posé par le gouvernement de son pays alors plongé dans la *Grande Guerre*: comment détecter la présence de sous-marins à distance?[1] Au moyen d'une lame de quartz entre des plaques d'acier, il réalisa une source d'ultrasons produisant un mince et intense faisceau, pouvant donner des échos mesurables à partir d'obstacles lointains. Il est donc, avec Constantin CHILOWSKY[2], le véritable inventeur

M. Jean-Luc DION a obtenu son D.Sc. de l'Université Paul-Sabatier de Toulouse et ses M.Sc. (Physique) et B.Sc.A. (Génie physique) de l'Université Laval.

Il est actuellement professeur à l'Université du Québec à Trois-rivières. Il a été Consultant au Centre de Recherche Industrielle du Québec, chef de section, génie électrique et directeur du département d'ingénierie à l'UQTR et professeur au Centre des Études Universitaires de Trois-Rivières.

Il est actif dans les secteurs d'enseignement suivant: électromagnétisme, électrométrie, acoustique, analyse de signaux, et secteurs de recherche suivants: ultrasons et acousto-optique. Il a, par ailleurs, à son actif un grand nombre de publications et de brevets dans ces domaines.

du procédé de détection sous-marine par ultrasons que les Anglais prendront plus tard à leur compte sous le nom de *SONAR*. On prend un véritable plaisir à lire ce brevet (un parmi d'autres) écrit dans une langue d'une admirable clarté[2]. Langevin s'est illustré d'une façon exceptionnelle dans plusieurs branches de la physique: rayons-X, théorie du magnétisme, théorie de la relativité (en même temps qu'Einstein, il arrive à l'équivalence masse-énergie), etc.[3]. À l'occasion du transfert de ses cendres au Panthéon en 1948, deux ans après sa mort, un autre illustre scientifique, Frédéric JOLIOT-CURIE lui rendit hommage en ces termes: «Paul Langevin fut l'un de ces êtres exceptionnels, dont on compte très peu chaque siècle, qui, par leur intelligence créatrice, leur souci de faire bien, leur ardeur pour les justes causes, sont à l'origine des progrès réels de l'humanité.»

Ces travaux de pionnier ont donné naissance à une multitude d'applications des ultrasons dans des domaines très divers. Il faudrait bien plus que ce court article pour en faire état justement. Tout le monde connaît, par exemple, les développements remarquables de l'échographie, particulièrement en obstétrique[4]. Cette technique et ses nombreux avatars servent couramment à faire des images des défauts dans les matériaux. Depuis une quinzaine d'années, en poussant les fréquences utilisées à quelques centaines de mégahertz, on a réalisé des *microscopes acoustiques* ayant un pouvoir de résolution comparable à celui des appareils optiques, tout en permettant de voir des choses très différentes[5]. Au Québec, l'équipe du professeur David SHEEKE de l'Université de Sherbrooke contribue à l'avancement des connaissances dans ce dernier domaine. En métallurgie, les ultrasons à haute intensité sont utilisés dans la fabrication d'alliages spéciaux; on s'en sert également pour machiner des métaux durs et la céramique[1].

Les travaux que nous poursuivons dans notre laboratoire portent sur trois secteurs d'application des ultrasons: (a) l'imagerie et l'holographie ultrasonores;

(b) l'interférométrie appliquée à la mesure de la concentration des solutions; (c) la caractérisation acousto-optique des fibres de pâtes à papier.

Nos objectifs sont essentiellement orientés vers les applications industrielles. En cours de route, nous avons toutefois été amenés à développer certains aspects théoriques relativement originaux. Dans le premier cas, il s'agit de la mise au point d'une caméra pouvant éventuellement servir à l'examen des matériaux. Le deuxième sujet est l'étude d'un système pouvant servir à l'évaluation précise et instantanée de la concentration du gras dans le lait, de l'alcool dans une boisson, etc. La dernière étude porte sur une technique originale devant permettre de caractériser rapidement une suspension de fibres en vue de la commande automatique des procédés de défibrage dans les usines de pâtes à papier. Nous allons ici exposer brièvement l'essentiel de ces activités et des résultats obtenus.

Système d'imagerie ultrasonore

Au cours des dernières années, nous avons réalisé le dispositif schématisé à la figure 1 qui permet de faire des images à haute résolution au moyen d'ultrasons de 3,5 MHz environ. L'élément clé du système est une cellule à cristal liquide C de notre conception[6] qui permet de convertir un hologramme ultrasonore directement en image visible. Cette dernière peut correspondre à l'intensité ou à la phase des ultrasons venant de l'objet, selon le traitement fait par l'ordinateur. L'énergie acoustique venant de la source T_0 traverse l'objet OB, puis est focalisée sur C par la lentille acoustique, après réflexion sur la lame M_a , où elle se superpose à une onde plane cohérente produite par la source T_r .

Le champ acoustique résultant dans la couche de cristal liquide de C produit une réorientation des molécules initialement perpendiculaire aux parois. Cette distortion correspondant à l'hologramme ultrasonore est directement visible par la caméra vidéo,

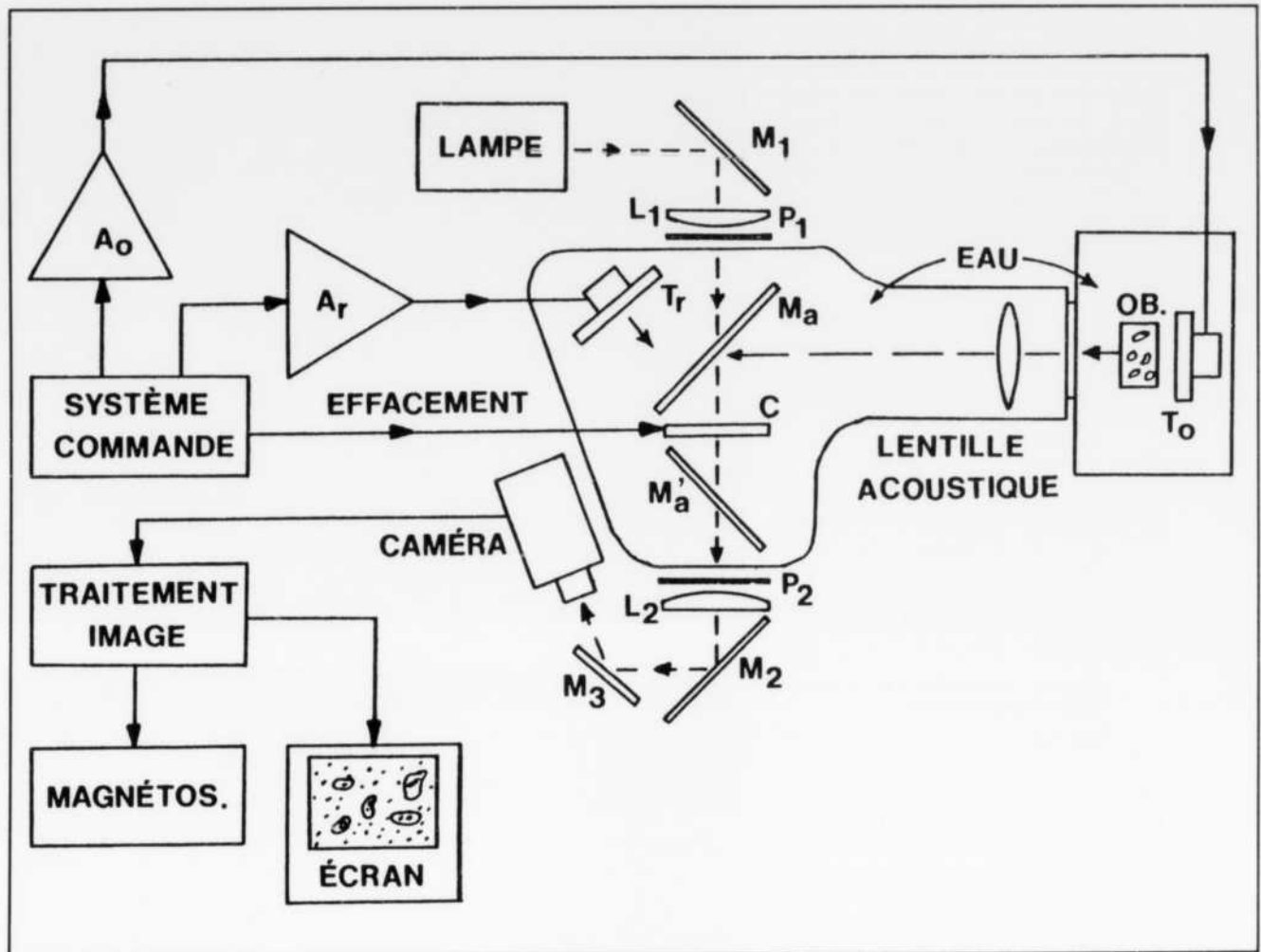


Figure 1 Caméra ultrasonore holographique avec détecteur à cristal liquide nématique.

du fait que le cristal liquide est un milieu biréfringent où la transmission lumineuse est modulée par l'orientation des molécules (7,8). Cette caméra fournit un signal au système de traitement d'images, qui peut alors rendre une image comme celle de la figure 2: image de décollements de forme circulaire dans une plaque de matériau composite graphite-époxy, où le plus petit mesure moins de 4 mm. Cela indique un pouvoir de résolution inférieur à un millimètre, ce qui correspond à moins que la limite fixée par le critère de Rayleigh dans ces conditions (1,2 mm). Une meilleure résolution peut éventuellement être atteinte en réalisant un système fonctionnant à plus haute fréquence.

Nous avons récemment fait les premières *images de phase* avec ce dispositif au moyen du traitement d'image par ordinateur.

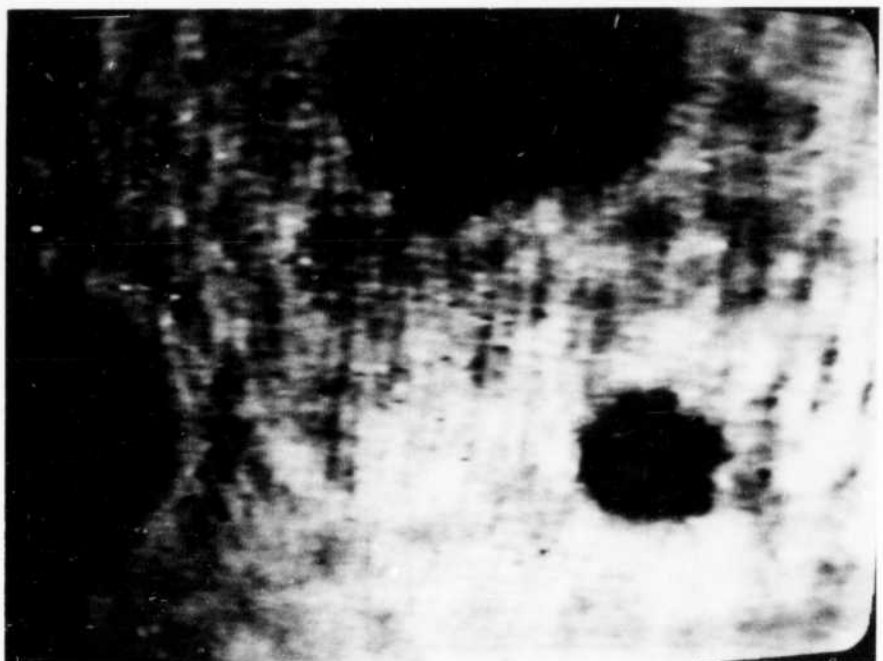


Figure 2 Image ultrasonore d'intensité de décollements dans une plaquette de composite graphite-époxy.

On peut en voir un exemple à la fig. 3. En 3—a, on voit l'image d'intensité donnée par la précédente technique d'une bande de mylar de 8 mm de large et 125 μm d'épaisseur: on ne distingue que les bords par diffraction. La fig. 3—b montre l'image de phase obtenue par traitement spécial, laquelle représente clairement la nature de l'objet.

Ce projet est rendu à l'étape de la mise au point d'un prototype industriel amélioré. Mentionnons que ces travaux ont donné l'occasion de mettre en évidence un nouveau type d'interaction de l'énergie acoustique avec la matière et d'en élaborer une théorie satisfaisante (9,10). Nous avons découvert que les molécules de cristal liquide dans un champ acoustique tendent à se réorienter de façon à minimiser les pertes (10,11).

Interférométrie ultrasonore

L'histoire de l'interférométrie ultrasonore remonte aux travaux de l'Américain Pierce en 1925 (12). La figure 4 en illustre le principe. Un transducteur ultrasonore T, disposé devant un plan réflecteur R, dans un milieu matériel quelconque (solide, liquide ou gazeux) produit dans ce dernier des ondes stationnaires quand la condition suivante est satisfaite:

$$a = n\lambda/2 = nv/2f$$

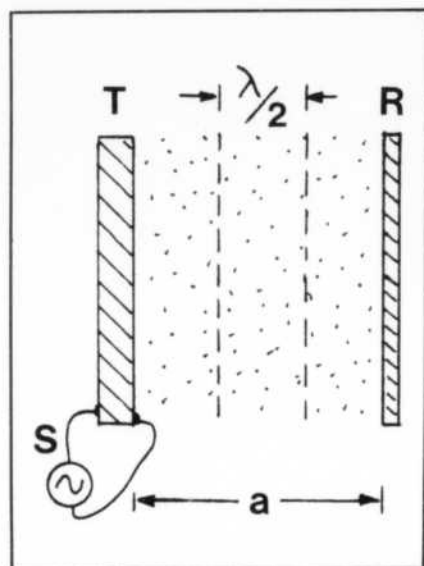


Figure 4 Production d'ondes stationnaires entre un transducteur T et un réflecteur R.

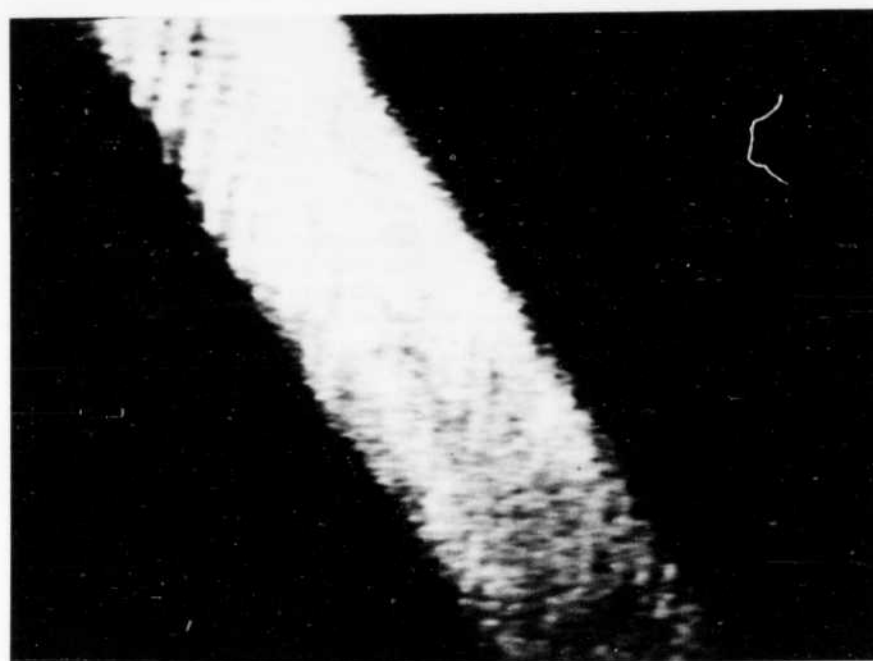
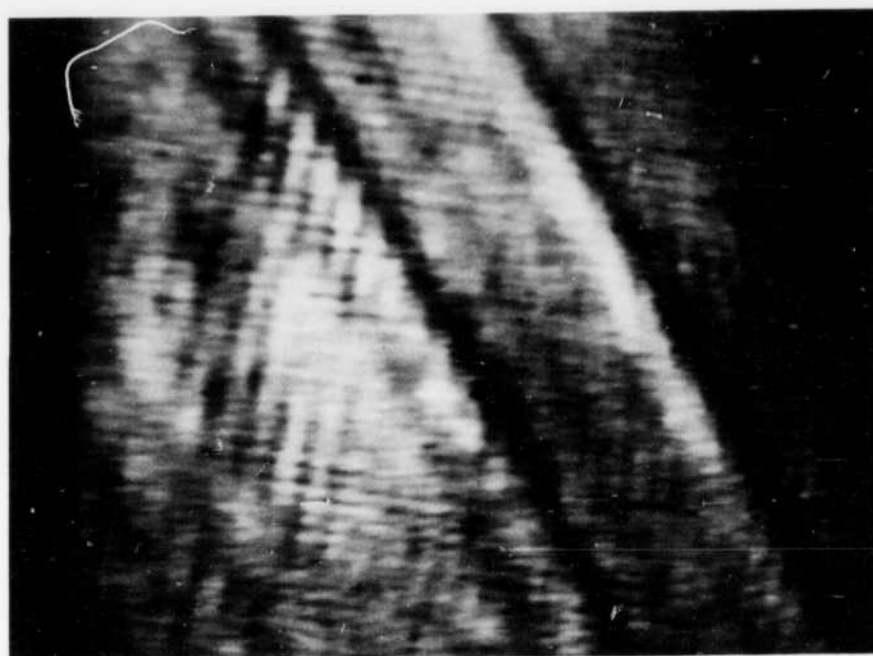


Figure 3 (a) Image d'intensité d'une languette de mylar de 125 μm d'épaisseur, 8 mm de largeur. (b) Image de phase du même objet.

où λ est la longueur d'onde, « n » un entier, « f » la fréquence et « v » la vitesse de propagation du son dans ce milieu. On dit alors que le résonateur oscille dans le mode « n ». On voit aisément que si la séparation « a » est fixe, la fréquence de résonance est directement proportionnelle à « v ». Comme la fréquence peut être mesurée avec une très grande précision, la vitesse l'est donc par conséquent, si la résonance est maintenue. D'au-

tre part, l'amplitude de la résonance est directement reliée à l'absorption de l'énergie acoustique dans le milieu. Cette technique a permis, en *laboratoire*, la mesure de diverses propriétés physiques d'un très grand nombre de substances, jusqu'à des fréquences de l'ordre du gigahertz.

De notre côté, nous avons pensé que cette technique pouvait sortir du laboratoire et servir dans

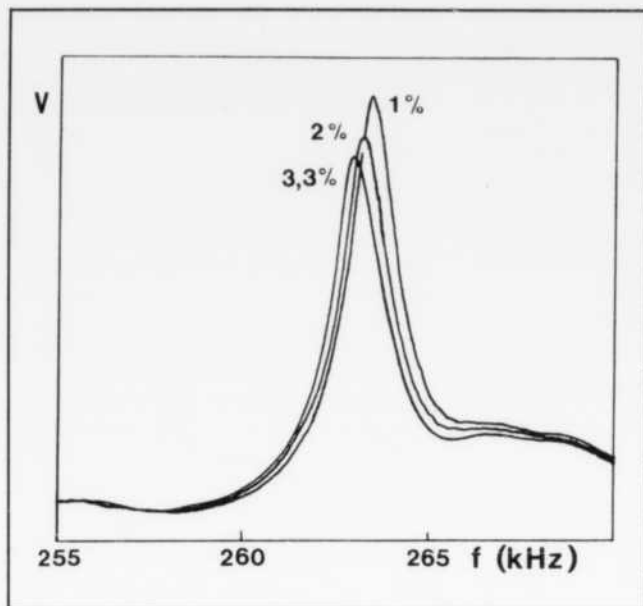


Figure 5 Réponse d'un résonateur ultrasonore avec du lait pour trois valeurs de teneur en gras.

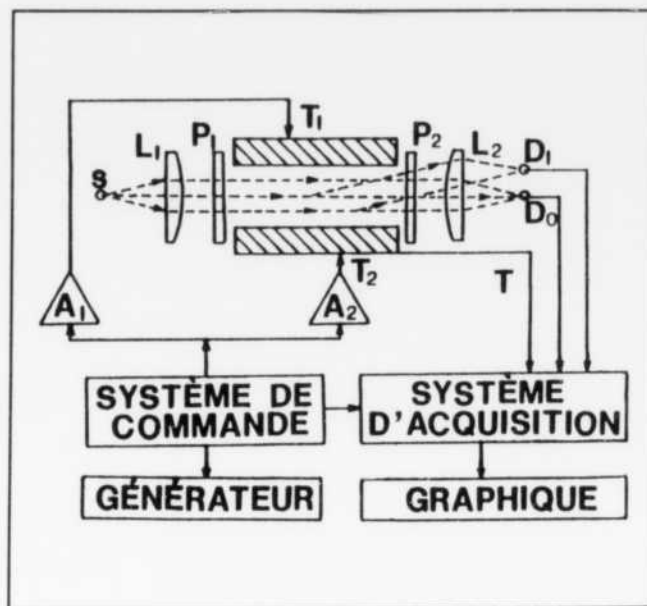


Figure 6 Analyseur acousto-optique de fibres de cellulose.

l'industrie, grâce à la micro-électronique. Nous travaillons actuellement à mettre au point un système d'interférométrie pratique et robuste qui pourra servir particulièrement à la détermination précise et rapide de gras dans le lait. En effet, à température constante, la vitesse du son dans ce dernier est fonction de la concentration du gras en suspension. Un résonateur en forme de sonde, relié à un système électronique compact, est plongé dans le liquide. Puis, la fréquence de résonance est mesurée et corrigée en fonction de la température. Le système utilise particulièrement une technique de balayage en fréquence commandé par micro-ordinateur. Nous prévoyons que le traitement de l'amplitude et de la fréquence doit fournir une évaluation quasi-instantanée et précise à mieux de 0,01 % de la concentration. Pour fins d'illustration, la fig. 5 montre le déplacement mesuré de la résonance correspondant à diverses concentrations du gras dans le lait.

Une des principales utilisations prévues pour l'appareil est le contrôle du gras à la collecte chez le producteur laitier: il en résulterait une économie de temps considérable et probablement une plus grande satisfaction des divers intervenants, par rapport à la méthode

actuelle de prélèvement d'échantillons. Une autre version du système pourrait servir à la commande automatique du dosage en gras des divers produits dans les laiteries. Il pourrait également être utile aux fabricants d'alcools en permettant un contrôle rapide et précis des concentrations de divers produits alcoolisés. D'une façon générale, on prévoit qu'un tel système pourrait servir partout où il importe d'évaluer d'une façon simple et précise la concentration d'un composant de solution ou de suspension.

Caractérisation de fibres

Dans le précédent projet, on exploite les variations de *propriétés acoustiques* d'un milieu. Tout comme dans le premier projet, on utilise plutôt ici *l'action physique* des ultrasons sur un milieu. Nous avons démontré expérimentalement que les fibres d'une suspension très diluée de pâte à papier dans un champ d'ondes ultrasonores stationnaires subissent des forces qui les réorientent parallèlement aux plans d'onde et les regroupent dans certains de ces plans (13,14). Les divers résultats obtenus démontrent d'intéressantes possibilités d'applications

dans l'industrie des pâtes et papiers, pour la caractérisation des fibres et, éventuellement, la commande automatique des procédés de défibrage (15).

Le système étudié est schématisé à la fig. 6. Un résonateur ultrasonore est formé de deux transducteurs parallèles T_1 et T_2 excités par les amplificateurs de puissance A_1 et A_2 . La suspension de fibres étant soumise au champ des transducteurs, celles-ci commencent à se réorienter parallèlement à ces derniers, ainsi qu'à se stratifier dans les plans nodaux de pression acoustique. Or, les temps de réorientation et de stratification sont fonction des distributions de longueurs et de diamètres de fibres (14). La mesure de ces temps doit donc fournir de l'information sur ces dimensions. Cette mesure se fait en détectant la lumière transmise (D_0) et diffusée (D_1) par la suspension en évolution. L'acquisition et le traitement des signaux recueillis doivent éventuellement permettre d'établir des corrélations avec les dimensions des fibres.

La figure 7 représente un résultat typique démontrant les possibilités pratiques du procédé. On voit la variation de la lumière diffusée pour trois échantillons de fibres de pâte Kraft de longueurs moyennes différentes (les 28 sont

les plus longues). Cette variation est particulièrement reliée à la réorientation. On constate que les fibres courtes se réorientent plus rapidement

Nous croyons que les paramètres de ces courbes pourront prochainement être reliés aux caractéristiques des fibres. On note que les variations ne durent que quelques secondes: compte tenu du temps d'attente après l'injection de l'échantillon dans l'appareil, il semble que l'évaluation complète prend *moins de deux minutes*. Ce temps est de deux à quatre fois plus court que celui requis par les méthodes optiques les plus modernes. Nous croyons par conséquent que la réussite de ce projet devrait avoir des retombées intéressantes pour l'industrie québécoise du papier et celle d'ailleurs, car la mise au point de méthodes rapides et précises de caractérisation des fibres est une des priorités de cette industrie (16).

Conclusion

Nous avons ici décrit brièvement quelques travaux de recherche appliquée sur les ultrasons qui se poursuivent dans notre laboratoire. Les deux derniers sont apparemment les plus susceptibles d'avoir des retombées industrielles à court et moyen terme, car ils peuvent apporter une réponse relativement originale à des besoins exprimés par l'industrie laitière et celle des pâtes et papiers. Toutefois, l'atteinte des objectifs dans un avenir prévisible est très largement sinon essentiellement déterminée par la disponibilité de crédits de recherche. Or, tous les chercheurs savent qu'il est plus facile de trouver une centaine de millions de dollars pour couvrir un stade déjà milliardaire (*panem et circences*.....) que de dénicher une cinquantaine de milliers de dollars par années pour assurer la subsistance d'un chercheur qualifié dont les travaux ont au moins une certaine probabilité d'assurer le pain des citoyens de demain. Sommes-nous vraiment ainsi faits?

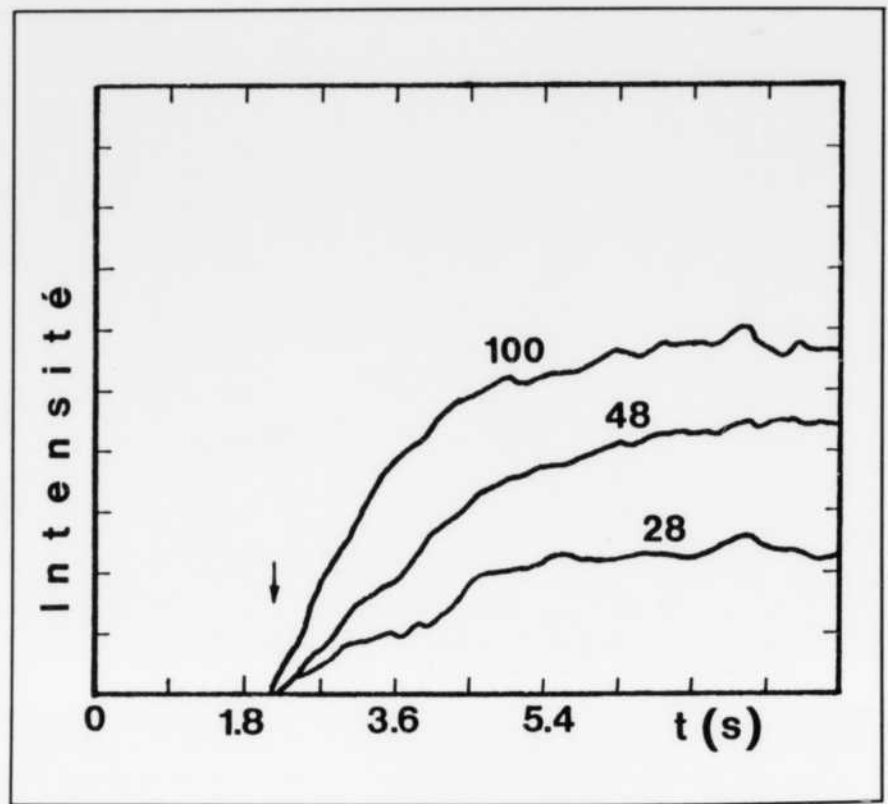


Figure 7 Réponse de l'analyseur de fibres pour trois échantillons, mailles 28, 48, 100 (longueurs décroissantes).

Références

1. Biquard, Pierre, *Les ultrasons*, Presses Universitaires de France, 1972.
2. Chilowsky, Constantin et Langevin, Pierre, *Procédés et appareils pour la production de signaux sous-marins dirigés et pour la localisation à distance d'obstacles sous-marins*, brevet d'invention français No 502 913, déposé le 29 mai 1916, publié le 29 mai 1920.
3. *Colloque C6, J. de Physique (Paris), supplément No 11-12, novembre — décembre 1972.*
4. De Vlieger, M., *Handbook of Clinical Ultrasound*, ch. 2.: *History of diagnostic ultrasound*, Wiley, 1978.
5. Lee, Hua et Wade, Glen, *Modern Acoustical Imaging*, IEEE Press, 1986.
6. Dion, Jean-Luc, brevets d'invention: *LCellule acousto-optique à cristal liquide*, Canada, No 1 112 750 (Nov. 1981); *Liquid crystal cell for acoustical imaging*, États-Unis, No 4 338 821 (Juil. 1982); *Cellule acousto-optique à cristal liquide et dispositif de visualisation comportant une telle cellule*, Europe, No 0 010 492 (Juin 1984).
7. Dion, J.L., Jacob, A.D. et Simard, R., *Acoustical imaging with a liquid crystal convertor and image processing system*, Proc. IEEE ELECTRONICOM 85, Toronto, oct. 1985, cat. IEEE No 85CH2238 4, V. 1, p. 44-50.
8. Dion, J.L. et Jacob, A.D., *Ultrasonic intensity and phase imaging at 3.5 MHz using liquid crystal conversion*, à paraître dans IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics, Frequency Control.
9. Dion, Jean-Luc, *Un nouvel effet des ultrasons sur l'orientation d'un cristal liquide*, Comptes Rendus Acad. des Sciences, Paris, t. 284, série B (1977), 219-222.
10. Dion, Jean-Luc et Jacob, André, *A new hypothesis on ultrasonic interaction with a nematic liquid crystal*, Appl. Phys. Lett., v. 31, No 8 (1977), 490-492.
11. Dion, Jean-Luc, *The orienting action of ultrasound on liquid crystals related to the theorem of minimum entropy production*, J. Applied Physics, v. 50 (1979), 2965-2966.
12. Pierce, G.W., Proc. Amer. Acad., v. 60 (1925), p. 269...
13. Dion, J.L., Malutta A. et Ciéolo, P., *Ultrasonic inspection of fiber suspensions*, J. Acoust. Soc. Amer., v. 72 (1982), 1524-1526.
14. Dion, Jean-Luc, Vaiade, Jacques L. et Law, Kwei-Nam, *Évolution d'une suspension de fibres dans un champ ultrasonore stationnaire*, à paraître dans Acustica, 1987.
15. Dion, J.L., Garceau, J.J. et Morissette, J.C. *Nouveau procédé acousto-optique de caractérisation des pâtes*, comptes rendus, Conf. Technol. Estivale, Assoc. Can. Prod. Pâtes et Papiers, Pointe-au-Pic, 5 juin 1986.
16. Leaver, E.L., *Final report: High priority requirements for on-line sensors for the Canadian pulp and paper industry*, Nat. Res. Council of Can., contrat No 034-1277/1064, 31 juillet 1980.

Le béton moderne: bien plus que du ciment

Pierre-Claude Aïtcin

Pour beaucoup d'ingénieurs, l'expression «haute technologie» ne s'applique qu'à l'électronique, l'informatique, la biotechnologie, la robotique. C'est une vue très restrictive de la révolution technologique que nos sociétés industrialisées vivent de nos jours. Le développement technologique actuel est très rapide, il est universel mais il est aussi global. Même un matériau aussi traditionnel que le béton n'échappe pas à la révolution technologique; il évolue tellement vite que le béton moderne est rapidement devenu bien plus qu'un mélange de ciment, d'eau et de granulats.

Au cours des dernières années, la technologie du béton a fait des bonds considérables à la suite de la mise en marché de plusieurs nouveaux produits et de produits dont l'action bénéfique dans le béton était connue depuis longtemps, mais qu'on ne pouvait se procurer à des coûts concurrentiels. Grâce à ces nouveaux produits, on peut maintenant conférer au béton, des propriétés et des qualités absolument insoupçonnées jusqu'ici.

On peut même affirmer qu'à l'heure actuelle, des chercheurs sont en train de mettre au point toute une nouvelle gamme de produits à base de ciment portland. En effet, l'un d'eux, J.D. Birchall, de la compagnie ICI en Angleterre, a réussi à fabriquer un ressort à base de ciment portland, en attendant de réaliser son rêve, c'est-à-dire de construire un avion à base de ciment portland...

Dans cet article, on démontrera d'abord que le béton c'est plus qu'un matériau dont le rapport Eau/Ciment est égal à 0,50, qui a un affaissement de 100 mm, une résistance en compression de 20 à 30 MPa et une résistance à la flexion de 3 à 5 MPa. On explorera ensuite quelques avenues de recherche qui pourraient, semble-t-il, présenter un certain intérêt.

M. Pierre-Claude Aïtcin, ing. est professeur titulaire à la faculté des sciences appliquées de l'Université de Sherbrooke.

La résistance d'un béton ordinaire n'est pas fonction de la seule quantité de ciment qu'on utilise lors de sa fabrication, mais du rapport qui existe entre la masse de ciment et la masse d'eau. Plus ce rapport est bas, plus le béton est fort. Généralement, on admet que pour que tous les grains de ciment s'hydratent complètement le rapport E/C d'un béton doit être de l'ordre de 0,30. Si l'on utilise 400 kg de ciment dans 1 m³ de béton, il

*On peut fluidifier
complètement
le béton sans
rajouter d'eau...*

suffit donc de 120 L d'eau pour hydrater complètement à long terme tous les grains de ciment.

Utilisation des superplastifiants dans le béton

Bien que l'effet dispersant des condensés de sulfonate de naphtalène ou de mélamine et de formaldéhyde soit connu depuis longtemps, ce n'est que très récemment que l'industrie du béton a profité des propriétés dispersantes de tels composés.

Les grains de ciment portland, qui sont composés de 5 minéraux principaux, soit les silicates bi et tricalciques, l'aluminoferrite et le gypse sont des particules à forte densité de charge qui se dispersent très mal dans l'eau. En particulier, si l'on n'utilise aucun dispersant, il est difficile de fabriquer un béton de chantier de 100 mm d'affaissement ayant une résistance en compression de 20 à 30 MPa avec un rapport E/C inférieur à 0,60. Par ailleurs, en utilisant des dispersants ordinaires, à base de lignosulfonate, on peut abaisser le rapport E/C à 0,50 ou même 0,45. Pour un béton riche dans lequel on utilise 400 kg de

ciment, il faut donc utiliser 180 L d'eau, ce qui représente 60 L d'eau de plus que la seule hydratation complète des grains de ciment ne le nécessiterait. Ce volume d'eau représente ce que d'aucuns appellent l'eau de plasticité.

Grâce aux superplastifiants, on peut soit fluidifier complètement le béton précédent sans lui rajouter d'eau, soit n'utiliser que la quantité d'eau nécessaire pour hydrater complètement les grains de ciment. On peut même fabriquer des bétons fluides en utilisant une quantité inférieure à celle qui est nécessaire pour hydrater complètement les grains de ciment.

Dans le premier cas, on utilise un faible dosage de superplastifiant (1 à 3 L par m³), dans le 2^e et 3^e cas, on peut aller jusqu'à 15 ou 20 L par m³. Évidemment, on peut choisir à l'intérieur de cette gamme de dosages pour obtenir toutes les combinaisons possibles de fluidité et de rapport E/C que l'on désire.

À l'heure actuelle, H.H. Bache a réussi à fabriquer un microbéton ayant un rapport E/C de 0,16, c'est-à-dire un microbéton contenant à peine la moitié de l'eau nécessaire pour hydrater complètement tous les grains de ciment présents dans ce microbéton. L'intérêt d'un tel béton sera démontré plus loin.

En mélangeant dans un malaxeur à caoutchouc du ciment portland, un superplastifiant et un latex spécialement conçu pour le béton, une pâte ayant la consistance d'une plasticine molle, ayant un rapport E/C de 0,10 a pu être fabriquée.

Grâce aux superplastifiants, on peut donc abaisser la quantité d'eau de gâchage d'un béton en dessous de ce qui est strictement nécessaire pour hydrater complètement les grains de ciment que l'on introduit dans un béton tout en conférant à ce dernier la fluidité désirée.

Utilisation des fumées de silice dans le béton

Les fumées de silice sont un sous-produit de la fabrication du

silicium ou du ferrosilicium qui se présentent sous forme d'une poudre très légère, excessivement fine (100 fois plus fine que le ciment portland). En fait, les grains de fumées de silice sont des microsphères de silice vitreuse de 0,1 µm de diamètre moyen.

Il est bien connu depuis fort longtemps (du temps des romains) que certaines formes de silice vitreuse peuvent réagir lentement en présence d'eau, à la température ambiante, avec de la chaux pour former des silicates hydratés aux propriétés cimentaires. Ce type de réaction est connu dans le domaine du béton sous le nom de «réaction pouzzolanique». Le mot pouzzolanique vient d'ailleurs du nom de la ville italienne de Puzzoli, qui lui-même est une déformation du nom latin Putéoli, nom de la ville où les romains exploitaient les cendres du Vésuve pour les mélanger avec de la chaux.

Parmi les 5 minéraux qui constituent le ciment portland, les 2 plus importants sont le silicate tricalcique et le silicate bicalcique qui représentent près de 80% de la masse totale du ciment. En réagissant avec l'eau, ces 2 minéraux libèrent une grande quantité de chaux, soit environ 30% de la masse totale des produits hydratés. Cette chaux se présente dans le béton sous forme de plaquettes hexagonales d'assez grande dimension.

On considère que cette chaux constitue un point faible dans le béton, car elle n'amène pas beaucoup de résistance mécanique, peut être facilement dissoute et être lessivée petit à petit, laissant derrière elle une matrice poreuse.

Les pouzzolanes et les fumées de silice transforment cette chaux à la température ambiante, en silicate hydraté de même nature que celui qui est généré lors de l'hydratation des silicates bi et tricalciques. En effet, dans le cas des pouzzolanes naturelles et artificielles, qui sont constituées de particules ayant la même grosseur que les grains de ciment, cette réaction est lente (dans les meilleurs cas, elle commence à se développer au bout de 1 mois mais plus souvent, il faut attendre 2 à 3 mois et même parfois 6 mois). Ce-

pendant, dans le cas des fumées de silice, cette réaction commence dès les premiers jours et est pratiquement terminée après 1 mois.

Grâce à la réaction pouzzolanique, la chaux qui constitue le maillon faible dans les produits d'hydratation du ciment portland est transformée en silicate hydraté secondaire dont les propriétés sont semblables à celles du silicate hydraté provenant de l'hydratation des silicates bi et tricalciques. Le développement de cette

*... augmenter
la résistance
en compression
du béton...*

réaction pouzzolanique a trois conséquences particulièrement importantes pour le béton: d'une part, un abaissement considérable de la perméabilité du béton et enfin, une diminution considérable du lessivage de la chaux par percolation.

Grâce à l'utilisation de fumées de silice dans le béton, on est maintenant capable de convertir en silicate de chaux hydraté partiellement toute la chaux libérée par l'hydratation du ciment portland, et ce, de façon rapide. Le développement rapide de cette action pouzzolanique permet entre autres, d'augmenter de façon très appréciable la résistance en compression du béton, de diminuer de façon considérable la perméabilité du béton et d'éliminer toute possibilité de lessivage de la chaux.

Capacité de la matrice

Depuis le tout début de l'utilisation du ciment portland dans les temps modernes, on a toujours considéré que la résistance en compression (comme la plupart des autres propriétés du béton) était surtout fonction du rapport Eau/ciment du béton. Cette loi n'a jamais été remise en question jus-

qu'à l'arrivée des superplastifiants, puisqu'il était impossible de fabriquer des bétons contenant moins d'eau qu'il n'en fallait pour hydrater complètement le béton. En effet, pour avoir un béton plastique qui puisse se mettre en place facilement, il fallait utiliser parfois plus de 50% de l'eau vraiment nécessaire à la simple hydratation de tous les grains de ciment.

En outre, lorsque les superplastifiants sont arrivés sur le marché, on était convaincu, et beaucoup le sont encore, qu'il ne fallait pas abaisser le rapport E/C du béton en dessous d'une valeur de 0,28 à 0,30, ce qui correspond en fait à la quantité d'eau théoriquement nécessaire pour hydrater complètement tous les grains de ciment.

Étant donné que l'hydratation des grains de ciment n'est pas instantanée, le chercheur danois H.H. Bache a eu le premier l'idée d'abaisser de façon systématique le rapport E/C en dessous de la valeur tabou de 0,30, en combinant l'utilisation de doses massives de superplastifiant et l'action de fumées de silice. Il a pu démontrer que, dans certaines conditions, les fumées de silice pouvaient même jouer un rôle plastifiant dans des bétons ayant des rapports E/C inférieurs à 0,20.

H.H. Bache a pu montrer que pour fabriquer des bétons très performants, il fallait obtenir la matrice la plus compacte possible au moment de la prise du ciment, grosso modo durant les 24 premières heures. C'est en effet lors de la fabrication du béton qu'il faut essayer de ne pas utiliser plus d'eau de gâchage que les grains de ciment ne vont en mobiliser en s'hydratant lors de la prise du béton. Il sera toujours temps de rajouter l'eau nécessaire à l'hydratation complète des grains de ciment non encore hydratés lors de son mûrissement, si on est en mesure de le faire. Dans un tel béton, les grains de ciment ne pouvant être rejoints par de l'eau ne joueront plus que le rôle de «fillers».

En utilisant des granulats spéciaux comme de l'alumine calcinée, H.H. Bache a pu fabriquer en laboratoire un microbéton ayant une résistance en compression de 280 MPa.

En transposant cette technologie dans le domaine des bétons de chantier, nous avons pu couler à Montréal un béton structural de 120 MPa dans une colonne expérimentale de l'édifice La Laurentienne qui abrite le siège social de la compagnie Lavalin. En plus d'être de 2 à 3 fois plus résistants que les bétons avec lesquels les concepteurs de structure actuels sont habitués à calculer les édifices en béton, de tels bétons présentent l'avantage d'être *absolument* imperméables. Lorsque l'on fend un cylindre de béton à très haute résistance de 150 mm de diamètre, ayant séjourné un an dans l'eau, on s'aperçoit que seule une frange de 20 à 30 mm est mouillée, le reste du béton étant absolument sec.

En effet, au fur et à mesure que l'eau cherche à pénétrer dans ce béton, elle rencontre des grains de ciment non hydratés; en les

hydratant, elle rend encore plus difficile sa propre pénétration vers le cœur du béton. La présence de grains de ciment non encore complètement hydratés dans de tels bétons constitue d'ailleurs le meilleur gage de sa durabilité, car on peut considérer ces grains non hydratés comme une réserve de potentiel cimentaire pour l'avenir.

La compacité de la matrice au moment du durcissement du béton conditionne, dans une large mesure, la résistance en compression finale d'un béton. En effet, pour fabriquer les bétons à très haute résistance, on a intérêt à diminuer le plus possible le rapport E/C, même en dessous de la valeur théoriquement nécessaire pour hydrater complètement tous les grains de ciment. Il est alors préférable de fournir l'eau supplémentaire nécessaire à l'hydratation des grains de ciment au

moyen d'un mûrissement adéquat.

Utilisation des fibres dans le béton

Depuis très longtemps, les hommes savent que pour améliorer la résistance à la flexion, aux impacts et aux chocs d'un matériau, il suffit de lui rajouter des fibres. En effet, dans l'Ancien Testament, on peut lire dans les versets 6 à 19 du chapitre V de l'Exode: «En ce jour-là, Pharaon donne des ordres aux exacteurs du peuple et à ses scribes, en disant: vous ne continuerez pas de donner de la paille au peuple, pour briquer les briques comme hier et avant hier, ils iront eux-mêmes ramasser la paille pour eux».

Il faut attendre le début des années 1900 pour voir l'ingénieur

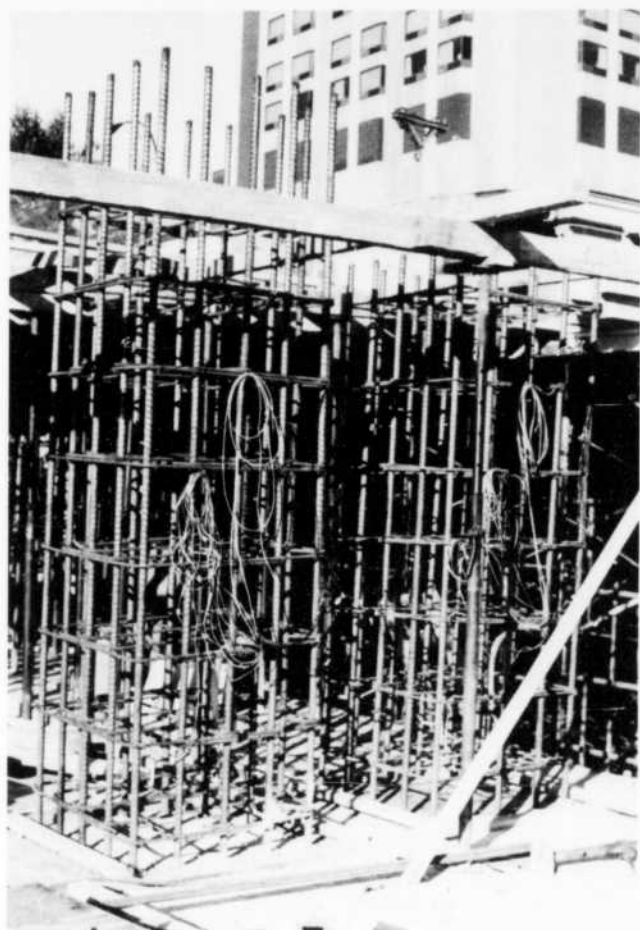


Figure 1 Mise en place des instruments de mesure dans les 2 colonnes expérimentales.

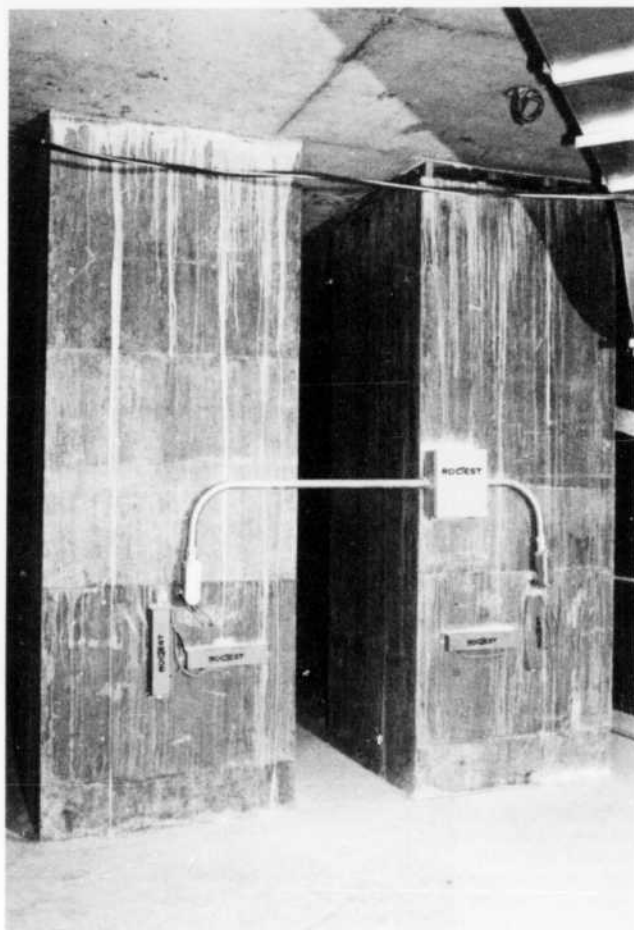


Figure 2 Colonnes expérimentales; à gauche, la colonne active qui fait partie intégrale de l'édifice La Laurentienne; à droite, la colonne témoin qui ne sera jamais chargée.



L'édifice La Laurentienne à Montréal où un béton structural de 120 MPa (à 1 an) a été utilisé lors de la construction d'une colonne expérimentale en 1984.

Hatcheck modifier une machine à fabriquer du papier pour mettre au point un produit à base de ciment portland contenant des fibres: l'amiante-ciment. Cependant, la technologie de l'amiante-ciment est restée une technologie plus proche de celle du papier que de celle du béton.

Or, depuis près de 15 ans, les fabricants de béton se voient offrir toute une gamme de fibres plus adaptées à la technologie du béton que les fibres d'amiante. Parmi toutes les fibres offertes sur le marché à l'heure actuelle, il semble que 3 d'entre elles présentent déjà un intérêt immédiat économiquement valable: ce sont les fibres d'acier, les fibres de polypropylène et les fibres de verre résistantes aux alcalis.

En effet, en rajoutant des fibres d'acier ou des fibres de verre résistantes aux alcalis dans du béton, on transforme ce matériau réputé fragile en un matériau pratiquement ductile. Lorsque, sous un effort de flexion, une première fissure se développe dans la matrice de béton, les fibres de couture, soit celles qui la traversent, reprennent tous les efforts de traction. Dans certains cas, avec des fibres d'acier, on a même pu observer une augmentation de la contrainte de rupture à la flexion.

En rajoutant des fibres dans un béton, on est en mesure de conférer à ce béton une résistance à la flexion, une résistance aux impacts et aux chocs sans commune mesure avec celles auxquelles on était habitués.

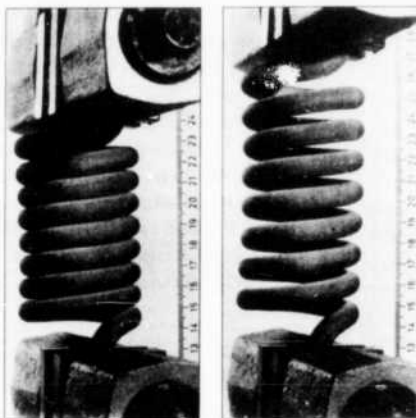


Figure 3 Ressort à base de ciment fabriqué par J.D. Birchall.

Utilisation de résines de synthèse

Le béton et les produits de ciment portland sont reconnus comme des matériaux ayant une faible résistance à la flexion, c'est d'ailleurs pour cela qu'on y rajoute des fibres. Or très récemment, un chercheur anglais J.D. Birchall a pu, en ajoutant des résines de synthèse solubles dans l'eau (dans des compositions très denses à base de ciment portland), obtenir des résistances à la flexion de 60 MPa, c'est-à-dire 10 fois supérieures à celle des bétons ordinaires. Ce chercheur considère qu'une résistance à la flexion de 150 à 200 MPa peut être envisagée dans l'état actuel de la technologie.

De façon à illustrer les qualités de son matériau, Birchall a même fabriqué un ressort à base de ciment portland!

Dans le but de mieux profiter du mariage de la chimie des polymères à base d'atome de carbone et des polymères à base d'atome de silicium, des chercheurs étudient la structure de certains coquillages marins qui présentent des résistances excessivement élevées. Il semblerait que ces coquillages sont faits d'un matériau composite constitué d'un empilement de fines couches successives d'aragonite (la forme cristalline du calcaire lorsqu'il cristallise dans de l'eau de mer) et de protéines.

Il est possible de nos jours de concevoir des formulations à base de ciment portland capables d'avoir une résistance à la flexion aussi élevée que la résistance à la compression des bétons actuels.

Références:

Utilisation des superplastifiants dans les bétons, les mortiers et les coulis

- MALHOTRA, V.M., BERRY, E.E., WHEAT T.A., Editors, «Superplasticizers in Concrete», Proceeding of an International Symposium Vol. I and II, Ottawa, May 1978.
- ANDERSEN, P.J., «The Effect of Superplasticizers and Air Entraining Agents on the Zeta Potential of Cement Particles», Cement and Concrete Research, Vol. 16, pp. 931-944, 1986.

Utilisation des fumées de silice dans l'industrie du béton

- AITCIN, P.-C., Éditeur, «Condensed Silica Fume», Les Éditions de l'Université de Sherbrooke, Sherbrooke, J1K 2R1, Canada, 1983.
- LOLAND, K.E., «Silica Fume in Concrete SINTEF» Report No SFT 65 F81011, Cement and Concrete Research Institute, Trondheim, January 1981, pp. 1-82.
- MALHOTRA, V.M., Ramachandram, R. Aitcin, P.-C., Feldman, «The Use of Silica Fume in Concrete», CRC Press Inc., 2000 Corporate Blvd N.W. Boca Raton, Florida 33431, en préparation.
- AITCIN, P.-C., «The Use of Condensed Silica Fume in Grouts», Innovative Cement Grouting ACI SP-83, pp. 1-18.

Influence de la compacité sur les propriétés mécaniques des bétons

- BACHE, H.H., «Densified Cement/Ultra Fine Particle — Based Materials», The Second International Conference on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, June 1981, pp. 1-35, Available through Aalborg Cement, Aalborg, Denmark.
- BIRCHALL, J.D., HOWARD, A.J., KENDALL, K., «Flexural Strength and Porosity of Cements», Nature, Vol. 289, No 5796, Jan. 24, 1981, pp. 338-390.

Utilisation des bétons à très haute résistance

- ALBINGER, J., MORENO, J., «High-Strength Concrete — Chicago Style», Concrete construction, V. 26, No. 3, March 1981, pp. 241-245.
- MORENO, J., Editor, «Analysis and Design of High-Rise Concrete Buildings», American Institute Fall Convention, Chicago, 1985, pp. 1-329.
- AITCIN, P.-C., BÉDARD, C., PLUMAT, M., HADDAD, G., «Very High Strength Cement for Very High Strength Concrete», Symposium of the Material Research Society, Fall Meeting, Boston, Nov. 1984, pp. 201-210.
- AITCIN, P.-C., LAPLANTE, P., BÉDARD, C., «Development and Experimental Use of a 90 MPa (13 000 psi) Field Concrete», ACI SP-87, Oct. 1985, oo, 5k-70.

Introduction de fibres dans le béton

- NAAMAN, A.E., HOMRICH, J.R., «Properties of High-Strength Fiber Reinforced Concrete», High-Strength Concrete ACI, SP-87, pp. 223-249.
- ACI Publication SCM-10 (85), «Design with Fiber Reinforced Concrete», Chicago, 1983.
- LAPALME, Y.R., «Synthèse de la littérature sur les ciments, mortiers et bétons renforcés de fibres», Institut de génie des Matériaux, Rapport IGM-85-305-199.

Utilisation des polymères dans des produits à base de ciment portland

- BIRCHALL, J.D., KELLY, A., «New Inorganic Materials», Scientific American, Vol. 248, No. 5, 1983, pp. 104-115.
- BIRCHALL, J.D., HOWARD, A.J., KENDALL, K., «Flexural Strength and Porosity of Cements», Nature, Vol. 289, No 5796, Jan. 24, 1981, pp. 388-390.
- BRADLEY, G., HOWARTH, I.M., «Water Soluble Polymers. The Relationship between Structure, Dispersing Action, and Rate of Cement Hydration», Cement, Concrete and Aggregates CCAAGDP, Vol. 8 No. 2, Hiver 1986, p. 68-75.

La technologie électro-optique au service du contrôle industriel de la production

Paolo Cielo

Certaines réalisations récentes dans le domaine du contrôle de la qualité des matériaux industriels à l'Institut de Génie des Matériaux (IGM) sont décrites. Des techniques d'inspection optique de matériaux extrudés ont été développées en réponse à des besoins spécifiques de certaines industries canadiennes, tandis que d'autres techniques de contrôle non-destructif de structures composites sont à l'étude. Ceci fait partie d'un programme général de développement technologique qui est mis à la disposition de l'industrie canadienne et dont le but est d'accroître la productivité et de stimuler le développement de domaines technologiques d'avenir au Canada.

Les avantages d'un programme d'assurance de la qualité en termes du contrôle des spécifications, réputation du produit et dépiage des problèmes de production ne sont plus à démontrer. Jusqu'à maintenant, ces contrôles ont été effectués dans la plupart des cas sur une base d'échantillonnage statistique. L'ingénieur en charge de l'assurance de la qualité, ou l'opérateur en charge de la production, prélève périodiquement des échantillons du produit dont les caractéristiques pertinentes sont mesurées avec précision. Les résultats de ces mesures sont introduits dans des chartes de qualité qui sont ensuite soumises à des analyses statistiques par attribut ou par variable afin de déterminer si les écarts enregistrés correspondent à des fluctuations statisti-

P. Cielo a obtenu son doctorat en optique physique de l'Université Laval en 1977. Après avoir travaillé dans le développement de méthodes d'impression sans impact chez Les Recherches Bell-Northern à Ottawa, ainsi qu'en détection du signal sonar au Centre de Recherches pour la Défense à Dartmouth, N.E. il s'est joint à l'Institut de Génie des Matériaux à Boucherville en 1980. Ses recherches portent surtout sur le développement de techniques utilisant l'optique et les lasers pour la caractérisation des matériaux industriels et le contrôle de la qualité.

quement acceptables ou bien si l'on est en présence d'une détérioration inacceptable de la qualité du produit.

Cette approche est toutefois loin d'être idéale. La prise d'échantillons requiert du temps et de l'attention de la part des différents opérateurs afin d'assurer une procédure d'échantillonnage répétitive et uniformément aléatoire. Des délais parfois considérables et des problèmes d'emmagasinage sont introduits lorsque des lots sont accumulés en attente de l'autorisation du contrôleur à poursuivre les étapes ultérieures de production ou à procéder à l'expédition. Tout cela pousse le responsable de la production à réduire la fréquence des échantillonnages, en diminuant ainsi la fiabilité des données statistiques recueillies et en introduisant des délais coûteux entre la détection et la réparation des problèmes de production.

L'introduction de l'ordinateur dans le milieu de production, ainsi que les progrès continus de la technologie des capteurs industriels, permettent d'éliminer ces problèmes en introduisant un contrôle continu de la qualité. Des capteurs sont introduits le long de la ligne de production de façon à recueillir, d'une façon continue et automatisée, les données statistiques relatives au produit à mesurer qu'il procède le long de la ligne de production. Ces données sont acheminées à l'ordinateur central où elles sont immédiatement analysées afin que le directeur de la production puisse avoir une image globale de l'avancement du produit et puisse intervenir sans délai lorsque des malfonctionnements sont détectés.

Il est évident que la disponibilité de capteurs précis et fiables est la condition essentielle qui est nécessaire à la mise en place de ces contrôles. Le développement de ces capteurs constitue l'un des principaux secteurs d'activité de l'Institut de Génie des Matériaux (IGM), un laboratoire financé par le gouvernement fédéral et situé à Boucherville. En étroite collaboration avec l'industrie, l'IGM a bâti une expertise générique en inspection industrielle qui est disponible à toute compagnie canadienne désireuse d'augmenter sa productivité.

L'un des secteurs qui se développe le plus rapidement dans ce domaine est celui des capteurs électro-optiques, grâce en partie aux énormes progrès qui ont eu lieu dans la technologie des lasers et des fibres optiques. Une étude récente (Sensor Review, juillet '86, p. 120) a prévu une expansion dans le volume de systèmes d'inspection électro-optique installés aux États-Unis allant de \$ 990 millions en 1984 à \$ 3.7 milliards en 1990. L'IGM participe activement à l'application de ces nouvelles technologies aux contrôles industriels, et plusieurs projets ont déjà été menés à terme en collaboration avec l'industrie dans des domaines tels que la vision artificielle, la thermographie infrarouge, la spectroscopie optique et l'inspection du fini de surface pendant la galvanisation des tôles d'acier ou l'extrusion des fils enrobés de polymère.

Inspection optique de matériaux extrudés

La mesure des propriétés optiques des matériaux de production est un outil avantageux pour le contrôle continu du produit car on peut l'appliquer aisément à des matériaux à haute température ou se déplaçant à haute vitesse. Des exemples d'applications sont le contrôle du fini de surface (Vorburger et Teague, 1981; Brodmann et al., 1985), la profilométrie tridimensionnelle pour la reconnaissance des objets (Strand, 1985), la mesure du diamètre des fils par balayage laser (Swing, 1975; Zannoni, 1977; Jackson, ; 1980) ainsi que la détection en temps réel de défauts de surface dans des feuilles polymériques (Carlisle, 1980) des produits textiles (Hyman et Burns, 1985) ou des tôles métalliques laminées (Barker et Brook, 1978; Baker, 1986). Certaines applications de ces technologies au contrôle de la production de matériaux polymériques qui ont été développées récemment à l'IGM seront maintenant décrites.

Inspection de câbles électriques enrobés de polymère

Les fils électriques isolants sont normalement produits en fai-

sant passer les fils de cuivre à travers la tête d'une extrudeuse d'où ils sortent enrobés d'un revêtement polymérique. Un exemple d'une telle machine est montré à la Fig. 1. Le fil électrique sort de la tête cylindrique de l'extrudeuse visible au centre de la photo à une vitesse qui atteint les 20 ou 30 mètre par seconde. Ces fils sont normalement inspectés après production afin d'écartier les produits dont le fini de surface est inacceptable. Des rugosités de surface de l'ordre de $50 \mu\text{m}$ ou plus en amplitude pic-à-pic sont considérées inacceptables pour la mise en marché. Ceci peut être dû à un contrôle inefficace de la température ou de la pression dans l'extrudeuse, à une infiltration d'humidité, etc. Une proportion moyenne de 4 ou 5% du volume de la production est ainsi normalement écartée, et souvent les coûts de recyclage sont trop élevés pour récupérer ces produits.

Afin de rendre possible un contrôle continu de la qualité qui permette d'arrêter la production avant de produire de grandes quantités de produits à rejeter, l'IGM a été récemment consulté par un manufacturier ontarien de câbles électriques. Étant donné la précision requise dans la mesure de la rugosité de surface, la grande vitesse et les vibrations transversales du câble extrudé, une approche optique a été prise en considération. La méthode qui s'est révélée la plus efficace est représentée schématiquement à la Fig. 2. Un



Figure 1: Essais à l'usine de prototype IGM pour le contrôle de la rugosité de fils électriques enrobés de polymères en cours d'extrusion.

faisceau lumineux à section laminaire d'intensité uniforme et projeté à travers le fil à l'aide d'un système approprié de lentilles sphériques et cylindriques (Cielo et Vaudreuil, 1985). La partie du faisceau qui n'est pas interceptée par le fil est envoyée sur un détecteur optique à large surface. Les vibrations transversales du fil n'affectent donc pas le niveau du signal détecté, tandis que la présence de rugosité même si de faible amplitude donne un signal à haute fréquence qui est séparée du niveau continu par filtrage passe-bande.

Des exemples de signaux obtenus à l'aide d'un tel capteur

sont montrés à la Fig. 3 dans le cas d'un fil de qualité de surface (a) acceptable et (b) inacceptable. On peut constater que la sensibilité du capteur se situe aux alentours de $3-4 \mu\text{m}$ d'amplitude de la rugosité, largement supérieure aux besoins de détection de produits inacceptables. Ceci permet donc d'afficher continuellement la tendance de la qualité du produit afin de prévenir des problèmes causés par des paramètres inadéquats du procédé de production avant que la rugosité atteigne des seuils critiques. Le prototype IGM, visible en Fig. 1, a été soumis à des essais intenses sur la ligne de production et cette technologie a été transfé-

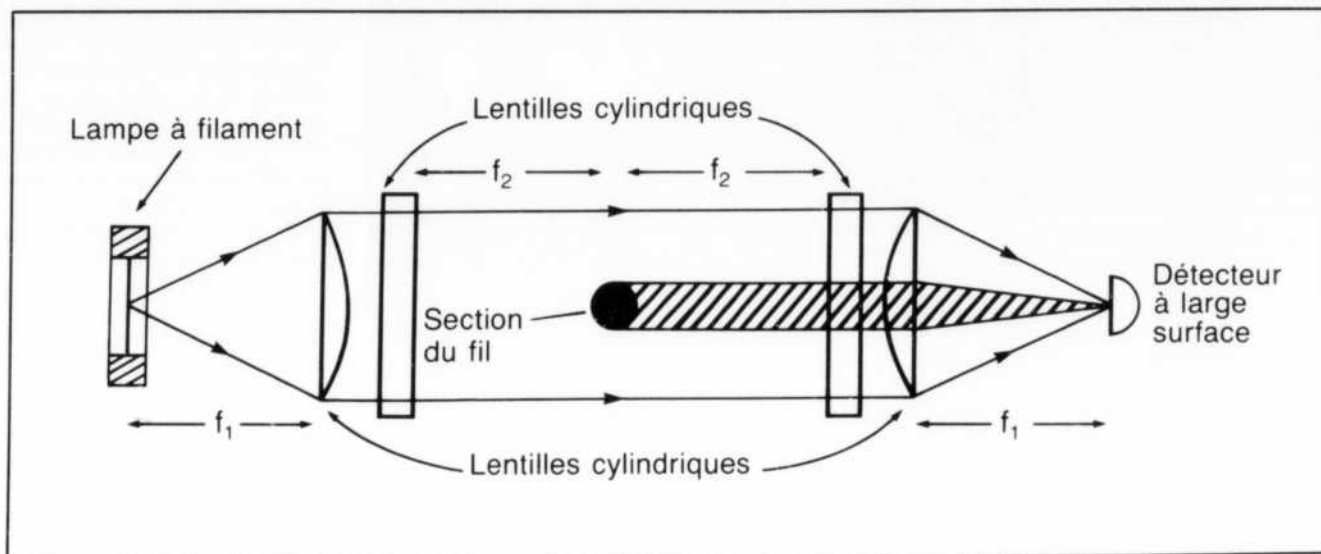


Figure 2: Schéma du système optique développé pour l'inspection continue du fini de surface du câble extrudé.

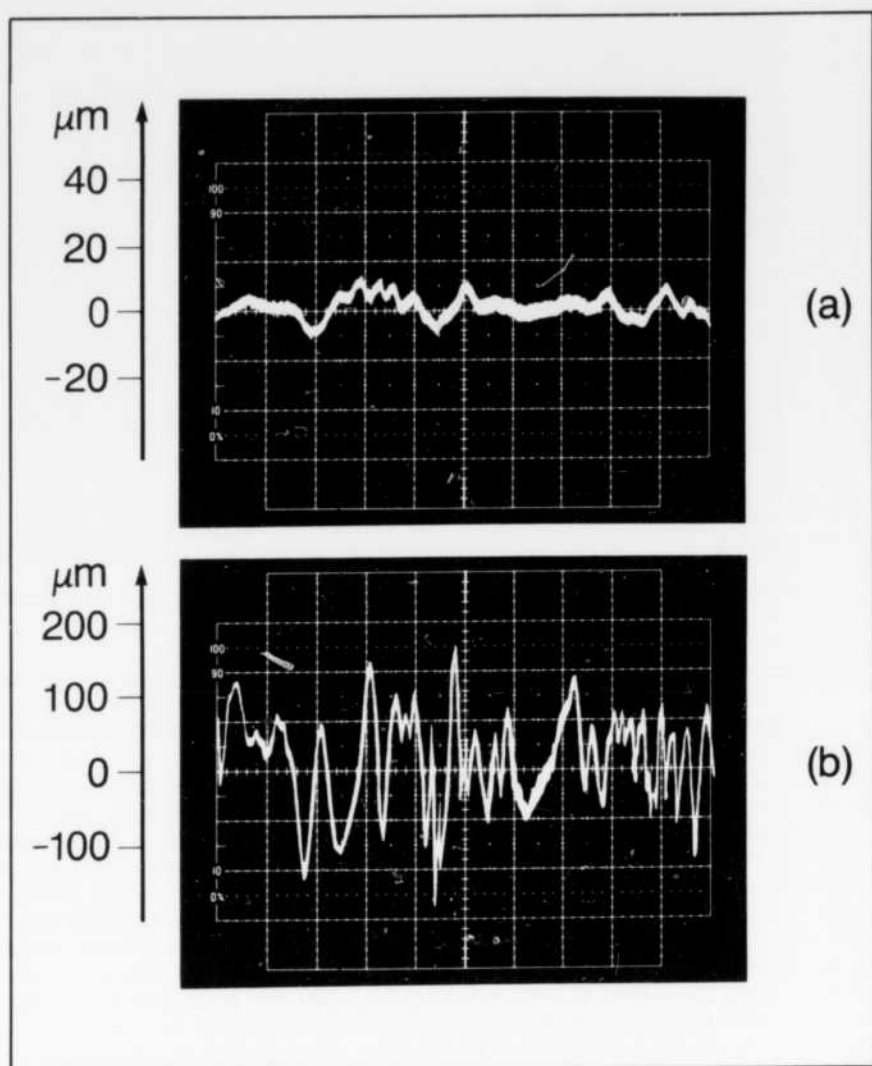


Figure 3: Exemple de signaux obtenus dans le cas d'un fil de qualité (a) acceptable et (b) inacceptable.

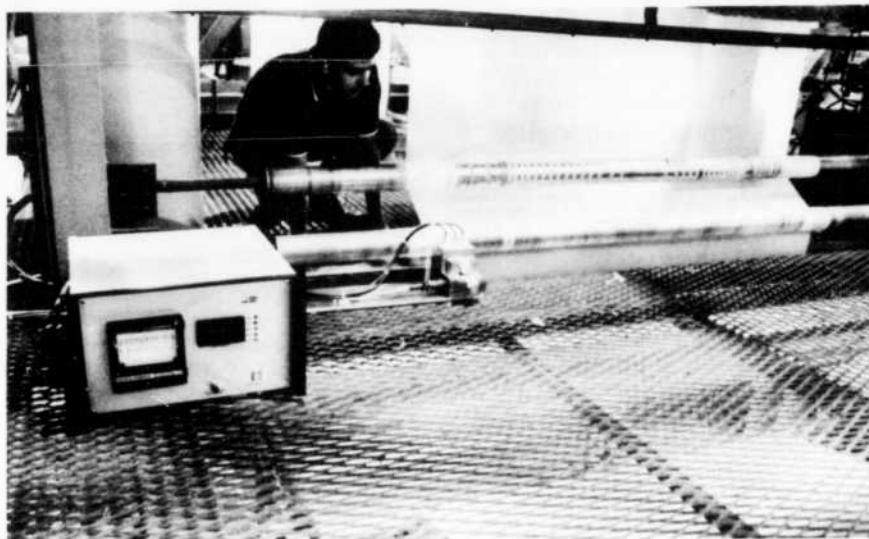


Figure 4 Le prototype IGM pour la mesure en continu de l'épaisseur des pellicules de polyéthylène pendant les essais en production chez Union Carbide, Cowansville.

rée à la compagnie utilisatrice pour une implantation à grande échelle sur ses nombreuses lignes de production à travers le Canada.

La mesure d'épaisseur des pellicules de polyéthylène

Un problème d'inspection industrielle, qui nous a été soumis récemment par Union Carbide Canada Ltée de Cowansville, est la mesure continue de l'épaisseur des pellicules de polyéthylène sur la ligne de production. Les capteurs maintenant disponibles, basés essentiellement sur l'atténuation de la radiation nucléaire, sont inadéquats à cause de leur fiabilité limitée, leurs coûts élevés et les problèmes de sécurité qui en découlent. Des capteurs mesurant l'atténuation de la radiation infrarouge ont été développés récemment, mais ils ne sont pas adéquats pour des pellicules contenant des pigments colorés. Un capteur à l'infrarouge de conception innovatrice qui permet de résoudre ce problème a donc été développé à l'IGM. Le prototype IGM est montré à la Fig. 4 pendant les essais sur une des lignes de production de Union Carbide.

Le principe de fonctionnement de ce capteur peut être compris à l'aide de la Fig. 5. L'absorption de la radiation infrarouge est particulièrement forte sur la bande d'absorption située autour de $2.4 \mu\text{m}$. La profondeur de cette bande d'absorption dépend de l'épaisseur de la pellicule, comme la Fig. 5 le montre. En prenant donc le rapport entre, les valeurs de la transmittance à 2.2 et $2.4 \mu\text{m}$, on obtient une mesure qui permet d'évaluer l'épaisseur de la pellicule et qui ne dépend pas de la puissance absolue de la source infrarouge ou de l'atténuation du faisceau causée, par l'accumulation de saleté sur les fenêtres de l'instrument.

Un problème sur lequel on s'est penché avec une attention particulière à l'IGM est la possibilité d'appliquer cet instrument à la mesure de l'épaisseur de pellicules contenant différentes quantités de pigments colorés. Même si la plupart des colorants n'ont pas de

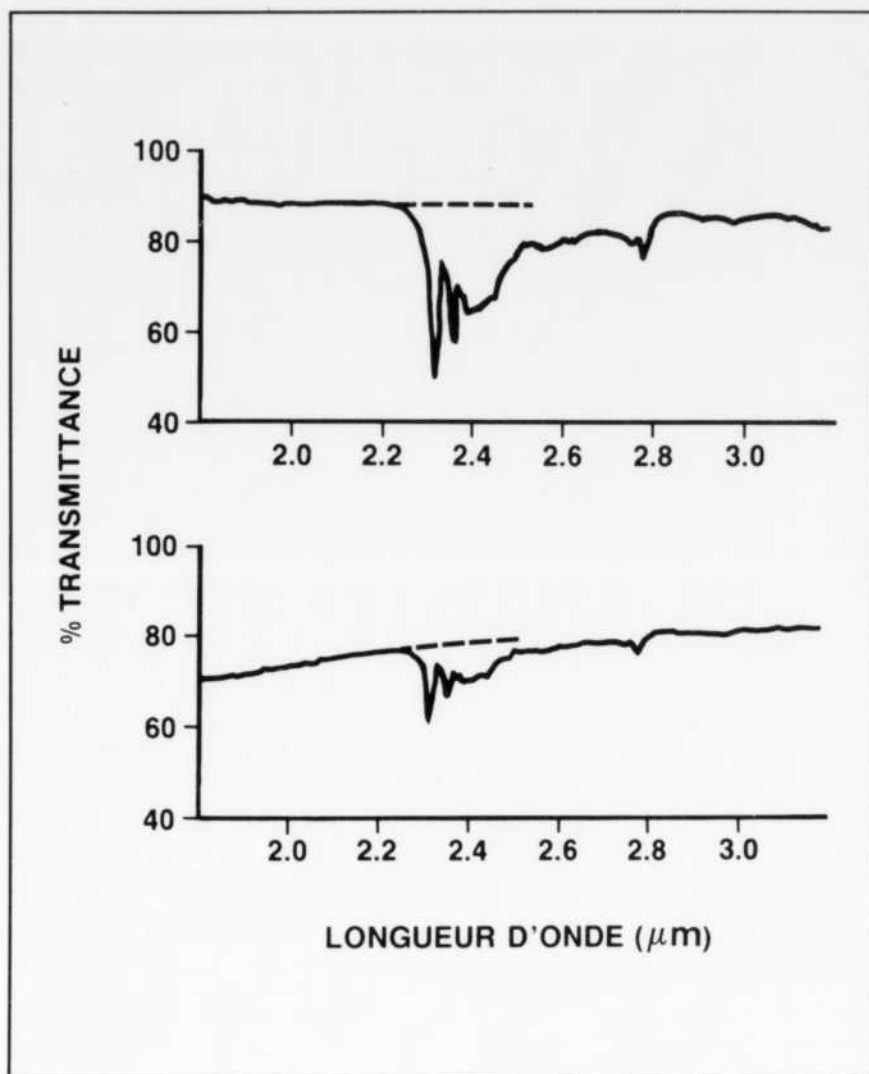


Figure 5: Transmission spectrale de la radiation infrarouge à travers une pellicule de polyéthylène clair de 60 μm d'épaisseur (haut) et de polyéthylène pigmenté de 20 μm (bas).

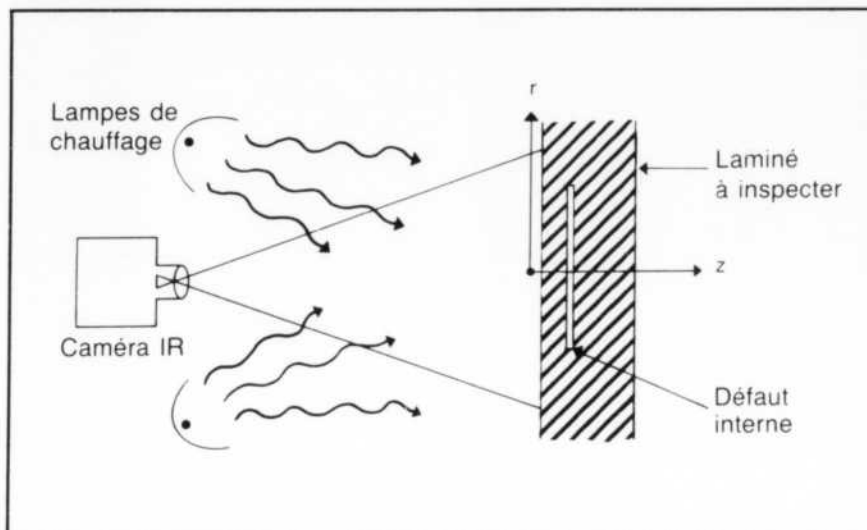


Figure 6: Schéma d'un système pour le contrôle nondestructif thermographique d'un matériau stratifié.

bandes d'absorption dans la région spectrale montrée en fig. 5, la radiation infrarouge est diffusée par ces particules, produisant une atténuation qui est plus forte aux courtes longueurs d'onde. Ceci est visible dans le graphique du bas de la Fig. 5, qui correspond à une pellicule fortement pigmentée. La pente positive de la courbe engendre des erreurs considérables lorsque l'épaisseur est évaluée à partir des deux valeurs de la transmittance à 2.2 et 2.4 μm . L'approche utilisée à l'IGM, pour laquelle un brevet est en cours, consiste à échantillonner le spectre à 2.05 et 2.2 μm afin d'en extrapoler la transmittance avant absorption à 2.35 μm , qui est comparée à la valeur mesurée expérimentalement afin d'en déduire l'épaisseur indépendamment de la présence de pigment colorés.

Le prototype IGM a été mis à l'essai pendant plusieurs mois aux usines de Union Carbide et les résultats ont été très satisfaisants avec des pellicules de couleurs différentes. Cette technologie sera transférée à une compagnie d'instrumentation industrielle pour ainsi l'introduire sur le marché mondial.

Évaluation non-destructive de matériaux stratifiés

L'évaluation non-destructive des matériaux afin de détecter des défauts internes qui pourraient donner lieu à des défaillances catastrophiques est un domaine important du génie manufacturier. Ceci est particulièrement requis pour des structures critiques pour la sécurité des utilisateurs, comme les structures aéronautiques en plastique renforcée de fibres de carbone. Le développement de techniques qui permettent une inspection rapide des matériaux est un domaine actif de la recherche appliquée.

Plusieurs techniques sont à l'essai à l'IGM pour ces applications. Une première approche est illustrée à la Fig. 6. La structure à inspecter, typiquement une plaque constituée de plusieurs lamelles d'époxy renforcée par des fibres de carbone est chauffée uniformément à quelques degrés au

dessus de l'ambiance par des lampes à incandescence. Si un défaut (tel qu'une absence de collage entre deux lamelles) est présent à l'intérieur du matériau, la résistance thermique accrue du défaut s'oppose au flux thermique qui traverse le matériau chauffé. Une région de température plus chaude peut donc être observée au dessus du défaut dans l'image thermique obtenue à l'aide d'une caméra à l'infrarouge.

La Fig. 7 montre comment l'image thermique peut être traitée afin de minimiser les erreurs dus à une non-uniformité de la radiation incidente ou de l'émissivité infrarouge à travers la surface. Dans ce cas, deux images de la même surface sont prises après 3 et 5 secondes, respectivement, après le début du chauffage. De fortes différences dans l'émission thermique à travers la surface sont causées par la variation de la morphologie locale de la pièce. Étant donné que cette morphologie est identique dans les deux images, une soustraction permet d'éliminer un tel bruit en laissant une image (c) qui montre clairement la position du défaut au dessus de la surface.

Une autre technique pour laquelle des efforts sont en cours depuis quelques années à l'IGM est la génération et détection d'ultrason par laser. Comme il est montré à la Fig. 8, cette méthode consiste à bombarder le matériau à inspecter avec une laser pulsé. La contrainte thermique produite par le chauffage localisé de la surface produit une impulsion ultrasonore qui se propage dans le matériau étant éventuellement réfléchi par des hétérogénéités comme des défauts de collage à l'intérieur du matériau. Les échos ultrasonores peuvent être détectés lors de leur arrivée à la surface par un interféromètre optique très sensible afin d'obtenir un système d'inspection sans aucun contact. Des systèmes de ce type ont été développés à l'IGM récemment comprenant des interféromètres avec des sensibilités meilleures qu'un Angström de déplacement de la surface, et plusieurs applications ont été démontrées pour la détection de fissures et de décollements, ainsi que pour la caractérisation de matériaux tels que des structures métalliques, composites ou céramiques.

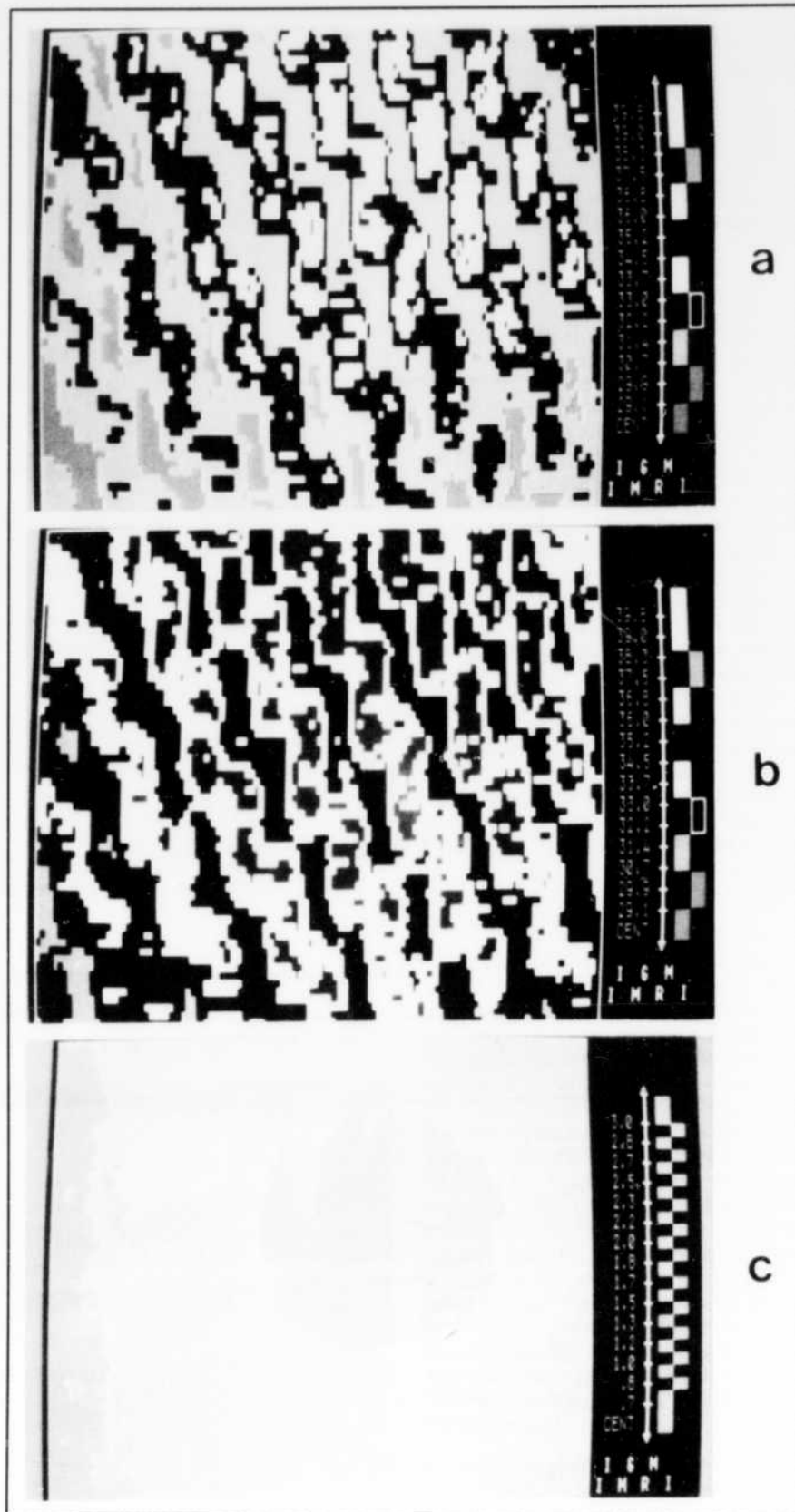


Figure 7: Traitement de l'image par analyse temporelle. Les images thermiques (a) et (b) sont prises au même endroit sur la surface d'un laminé graphite-époxy après 3 et 5 secondes, respectivement, après le début du chauffage. La soustraction d'image (c) permet de visualiser la présence d'un défaut de décollement interne.

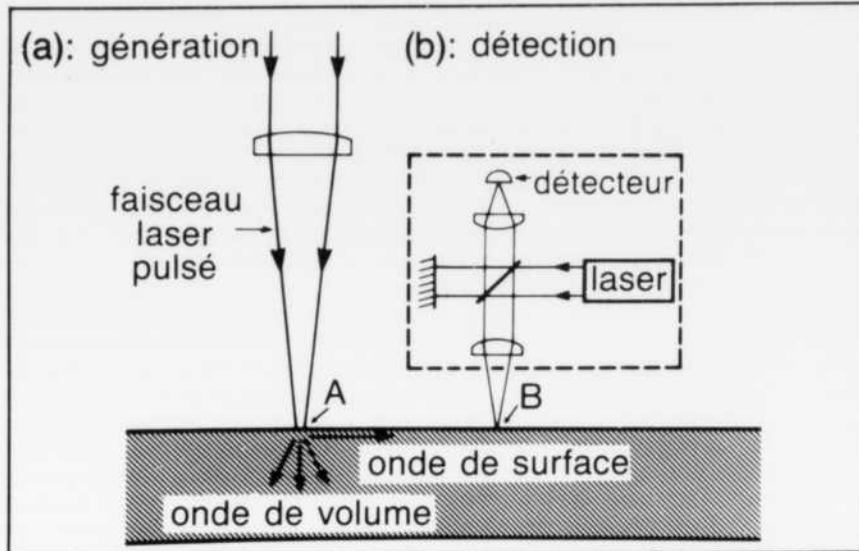


Figure 8: Schéma d'un système de génération et de détection d'ultrason par laser pour l'analyse non-destructive des matériaux.

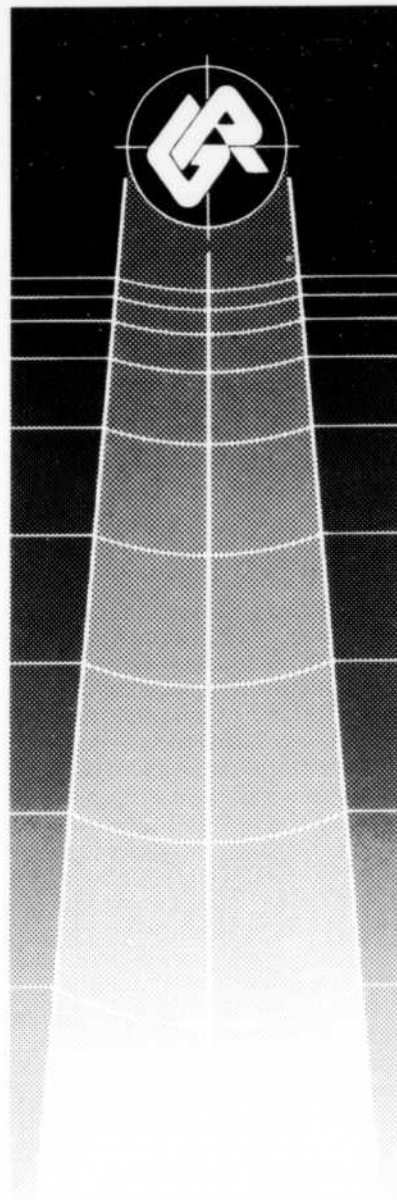
L'Institut de Génie des Matériaux est en train de bâtir une expertise générique en inspection industrielle basée sur l'application à des problèmes concrets soumis par l'industrie. Une telle expertise est librement disponible soit aux industries manufacturières qu'aux industries canadiennes d'instrumentation, avec lesquelles les interactions avant, pendant et après la poursuite de projets conjoints sont fortement encouragées. Un accent particulier est mis sur le développement des techniques d'inspection électro-optique, qui s'avèrent être particulièrement puissantes, versatiles et avantageuses dans leur implantation en ambiance industrielle.

l'ingénieur

Références

1. Baker, L. (1986). «Optical inspection in industry», in *Optical Techniques for industrial Inspection*. Proc. SPIE, vol. 665 (in press).
2. Barker, A.J. and R.A. Brook (1978). «A design study of an automatic system for on-line detection and classification of surface defects on cold-rolled steel strip». *Opt. Acta*, 23, pp. 1187-1196.
3. Brodmann, R., R. Gerstorfer and G. Thurn (1985). «Optical roughness measuring instrument for fine-machined surfaces». *Opt. Eng.*, 24, pp. 408-413.

4. Carlisle, S.S. (1980). «On-line fault detection and pattern recognition on moving webs». Proc. 4th IFAC Meeting, pp. 533-541. Pergamon Press.
5. Hyman, A. and N.D. Burns (1985). «Automated optical inspection of knitted fabrics», in *Automated Inspection and Product Control*.
6. Jackson, M.T. (1980). «On-line optical gauging», in *Optics in Metrology and Quality Assurance*. Proc. SPIE, 220, pp. 190-196.
7. Strand, T.C. «Optical three-dimensional sensing for machine vision», *Opt. Eng.* 24, pp. 33-38.
8. Swing, D.M. (1975). «Dimensional gauging using a scanning laser», in *Quality Control*. Proc. SPIE, 60, pp. 118-123.
9. Vorburger, T.V. and E.C. Teague (1981). «Optical techniques for on-line measurement of surface topography». *Precision Eng.*, 3, pp. 61-83.
10. Zanoni, C.A. (1977). «Dimensional gauging using a scanning laser beam», in *Cleaver Optics*. Proc. SPIE, 126, pp. 104-109.



GÉOPHYSIQUE G.P.R. INTERNATIONAL INC.

EXPÉRIENCE MONDIALE
EN EXPLORATION

- Géophysique
- Géologie
- Ingénierie
- Hydrogéologie



894 rue Front, Longueuil
Québec J4K 1Z7
(514) 679-2400 / Téléc: 055-60495

EXPLORATION KGA INC.
C.P. 751 - 1216, 3e Avenue, Val D'Or,
Québec J9P 4P8
(819) 825-5777 / Téléc: 055-60495

La formation de l'ingénieur: une réflexion

par: Camille Dagenais

Depuis plusieurs années on se demande ce que devrait inclure un cours d'ingénieur et la réponse qu'il convient de donner se résume comme suit.

Le cours de génie est une formation, une manière d'aborder les problèmes, une philosophie de vie qui favorise une approche planifiée afin d'éliminer les imprévus et qui s'appuie fortement sur la logique. C'est, d'une façon plus scientifique, l'application de la science à l'amélioration de la vie, au développement de nouveaux produits, à la résolution de problèmes, à la conservation de notre environnement, à l'exploitation adéquate de nos ressources naturelles, à l'exploration de l'espace.

Considérant l'influence énorme de la technologie sur notre vie de tous les jours, il n'est plus acceptable qu'un ingénieur se préoccupe uniquement du côté technique, sans pour autant tenir compte de l'influence de cette technologie sur la vie des gens, sur l'environnement social, biologique et écologique. Quoique, de façon générale, l'ingénieur a toujours dû envisager l'application de la science dans cette optique élargie des répercussions sur la société, il ne peut plus, et encore moins pourra-t-il à l'avenir, se permettre de voir les choses de façon si restrictive.

Bien sûr l'ingénieur doit, dans la première étape de sa carrière, compléter les connaissances théoriques qu'on lui a enseignées à l'université par des connaissances pratiques. Considérant néanmoins que la technologie subit des changements importants et de plus en plus rapides, il semble plus raisonnable, sinon prudent, de faire des études universitaires plutôt générales que spécialisées. Il sera toujours temps de se spécialiser après plusieurs années de pratique, quand le jeune ingénieur aura eu l'occasion de constater, in situ, les spécialités susceptibles de durer et qui lui permettront de s'adapter à certaines évolutions prévisibles. Il arrivera un moment dans le cheminement de sa carrière, même si la technique demeure son intérêt premier, où pour bien remplir son rôle d'ingénieur, il lui faudra introduire, dans la résolution des problèmes et dans la planification à long terme, des facteurs relevant des domaines de la finance, des relations humaines de la gestion et du droit.

Si l'ingénieur vise un poste de direction, il est encore plus essentiel qu'à l'université, du moins, il reçoive un certain bagage de connaissances dans des domaines autres que la technique, qu'il soit sensibilisé aux répercussions futures de décisions qu'il prendra dans le cadre élargi de toute la société.

On a constaté tout récemment, lors de journées d'études dans une faculté de génie d'après

les commentaires des professeurs et des étudiants, que les cours extra-curriculum facultatifs (domaines socio-économiques) étaient en général très peu populaires. Les étudiants n'aiment pas ces cours parce qu'ils les trouvent ennuyants et les professeurs ne sont pas tellement convaincus de leur importance.

Il faudrait que certains cours traitant de finance, de gestion, de droit et relations humaines, soient obligatoires. La question n'est pas de savoir si on les aime ou s'ils semblent importants, car l'expérience de la vie d'ingénieur prouve le contraire. Nous sommes trop souvent accusés d'avoir des œillères techniques dans la solution de nos problèmes.

Étant donné que la technologie fait partie intégrante de la vie d'aujourd'hui, et qu'elle aura encore plus d'importance demain, l'ingénieur se doit, s'il veut participer aux décisions, d'avoir une formation générale.

En terminant, pour ceux qui croiraient encore que la logique se doit d'être l'aspect dominant de la formation et de la profession de l'ingénieur, rappelons ces deux citations:

«It is not who is right that is important but what is right» et le *what is right* doit être déterminé avec la pensée suivante de M. Barenton:

«La logique et le bon sens: un chef,
Le bon sens sans logique: un assistant;
La logique sans bon sens: une catastrophe.»

Abonnez-vous à

l'ingénieur

LA REVUE DU GÉNIE EN MARCHÉ

Génie biomédical et biomatériaux

Lentilles de contact et cristallins artificiels, valvules cardiaques et greffons vasculaires en polymères, prothèses mammaires en silicoflex, hanches et genoux artificiels en composites et céramiques, implants, clous, broches et plaques pour l'ostéosynthèse et la chirurgie dentaire... sans oublier les organes artificiels comme Cora, le cœur français en composite-carbone: ce sont les principaux exemples d'utilisation des biomatériaux. Ces derniers font actuellement l'objet de progrès considérables dans le monde entier.

Les biomatériaux représentent des marchés considérables. Les chiffres sont éloquentes: 650 000 prothèses de la hanche et 40 000 du genou sont posées chaque année dans le monde. Le marché mondial des technologies biomédicales représente 12 milliards de dollars avec une croissance estimée à 20% l'an.

Des métaux spéciaux aux nouveaux matériaux composites

Les principales utilisations des biomatériaux sont les prothèses articulaires de la hanche

... les composites, nouveaux matériaux qui font l'objet de recherches intensives

ou du genou et des organes très sollicités qui nécessitent l'étude de matériaux spéciaux.

Une prothèse articulaire efficace plus de 5 millions de cycles par an dans le milieu physiologique salin et supporte des efforts dépassant localement 700 Kg. D'où, au départ, l'emploi d'alliages métalliques: l'acier inoxydable, le nickel, le molybdène, représentant encore

80% des implants osseux. Il subit une refonte sous vide pour éliminer les inclusions qui favorisent la corrosion. Celle-ci reste inférieure à celle des super alliages au cobalt-chrome-molybdène: vitalium, francobal, zimaloid... La meilleure tenue à la corrosion serait celle du titane, à base de titane. Toutefois ces métaux s'usent plus rapidement et sont moins bien acceptés par l'organisme que les composites, nouveaux matériaux qui font l'objet de recherches intensives dans les laboratoires et chez les industriels. L'exemple du cœur artificiel Cora est significatif.

... premières implantations sur l'homme d'ici à 1990...

Du cœur artificiel aux prothèses composite

En décembre 1982 à Salt Lake City, pour la première fois au monde, un homme vit avec un cœur artificiel. C'est un grand pas dans l'histoire de la médecine, mais le patient reste relié par des capteurs et des tubulures au mini-compresseur qui sert à actionner son nouvel organe cardiaque, une pompe pneumatique à membrane. D'où l'idée du projet français Cora: construire un cœur artificiel autonome, sans connexion pneumatique, avec une pompe rotative électrique actionnée par une pile interne qu'on vient recharger par un inducteur électromagnétique appliqué contre la peau. Grâce à ce principe, proposé par l'équipe des professeurs Havelik et Montès du laboratoire de recherches chirurgicales de Marseille, l'ensemble devient autonome et implantable.

C'est la Société SEP, spécialisée dans les matériaux composites, notamment pour l'aéronautique et l'espace, qui a étudié le composite carbone-céramique appelé Biocarb pour la construction des deux prototypes de Cora. Ils

ont fait l'objet d'expérimentations animales à Marseille et les premières implantations sur l'homme seraient possibles d'ici à 1990. C'est donc un intéressant exemple de transfert de technologie du domaine spatial au médical: les composites carbone-carbone ou carbone-céramique Sepcarb et Cerasep — initialement développés pour résister aux sollicitations extrêmes du gaz de propulseurs à poudre — offrent de nouvelles perspectives en chirurgie avec leurs variantes biocompatibles: les Biocarb.

Ces matériaux servent également à réaliser diverses prothèses que la SEP a eu l'idée de rassembler sur un mannequin: le Biomannequin. On y trouve des prothèses du genou et de la hanche, des plaques et clous, des implants dentaires, des renforts de tissus Herculon et Auricab pour applications vétérinaires (parois herniaires, oreilles), des prothèses vasculaires souples ou rigides... Ces travaux de recherche de la SEP ont été menés en collaboration avec le CNRS, l'Inserm et des laboratoires universitaires spécialisés.

... diverses prothèses qu'on a rassemblées sur un mannequin...

Les fabricants prothésistes français pourront ainsi bénéficier de l'apport de ces matériaux composites, notamment: ABM et sa filiale FII, Ceraver, Coval, Emco, Ifro, Landos, Sanorthro, Scovac, Serf, Sorem... Précisons que la plupart de ces industriels en génie biomédical sont regroupés dans un syndicat professionnel, le Facomed: Syndicat des fabricants et constructeurs des industries médico-chirurgicales françaises.

Notons aussi qu'une autre Société spécialisée dans les matériaux pour l'aéronautique, Composite Aquitaine, filiale d'Aérospatiale, met au point des composites carbone 3D de haute résistance et

que Ceraver, filiale de CGE, (Compagnie Générale d'électricité), propose une prothèse articulaire céramique à base d'aluminium dont 6000 exemplaires sont vendus chaque année en France. De son côté, l'Office des rayonnements ionisants, organisme qui dépend du CEA, (commissariat à l'énergie atomique), commercialise depuis quatre ans des prothèses totales de hanche en polyéthylène articulé avec implant fémoral en acier: plus de 10000 de ces pièces sont ainsi produites chaque année. Quant à Serf, elle produit 5000 prothèses par an en acier inoxydable et polyéthylène pour la hanche, l'épau-
le, les doigts.

Des prothèses usinées en CFAO

Dans le domaine des implants dentaires, signalons à Nantes, les travaux du professeur Kerebel de l'Inserm, conduits en collaboration avec le laboratoire CNRS de physico-chimie de Toulouse et le Département of Dental Materials de l'université de New-York. Ils ont abouti

*... confection
de prothèses
dentaires
en CFAO...*

à la mise au point de bio-matériaux à base de phosphate de calcium avec adjonction d'ions ou de protéines. Ces recherches doivent apporter de nouveaux atouts aux chirurgiens-dentistes avec des implants dentaires qui assureront une parfaite symbiose avec les tissus sains voisins.

Dans ce domaine dentaire, signalons aussi une première mondiale française: la confection de prothèses dentaires en CFAO (conception et fabrication assistées par ordinateur). Cette démonstration a eu lieu fin novembre 1985 au Congrès international de l'Association dentaire par la Société Henson.

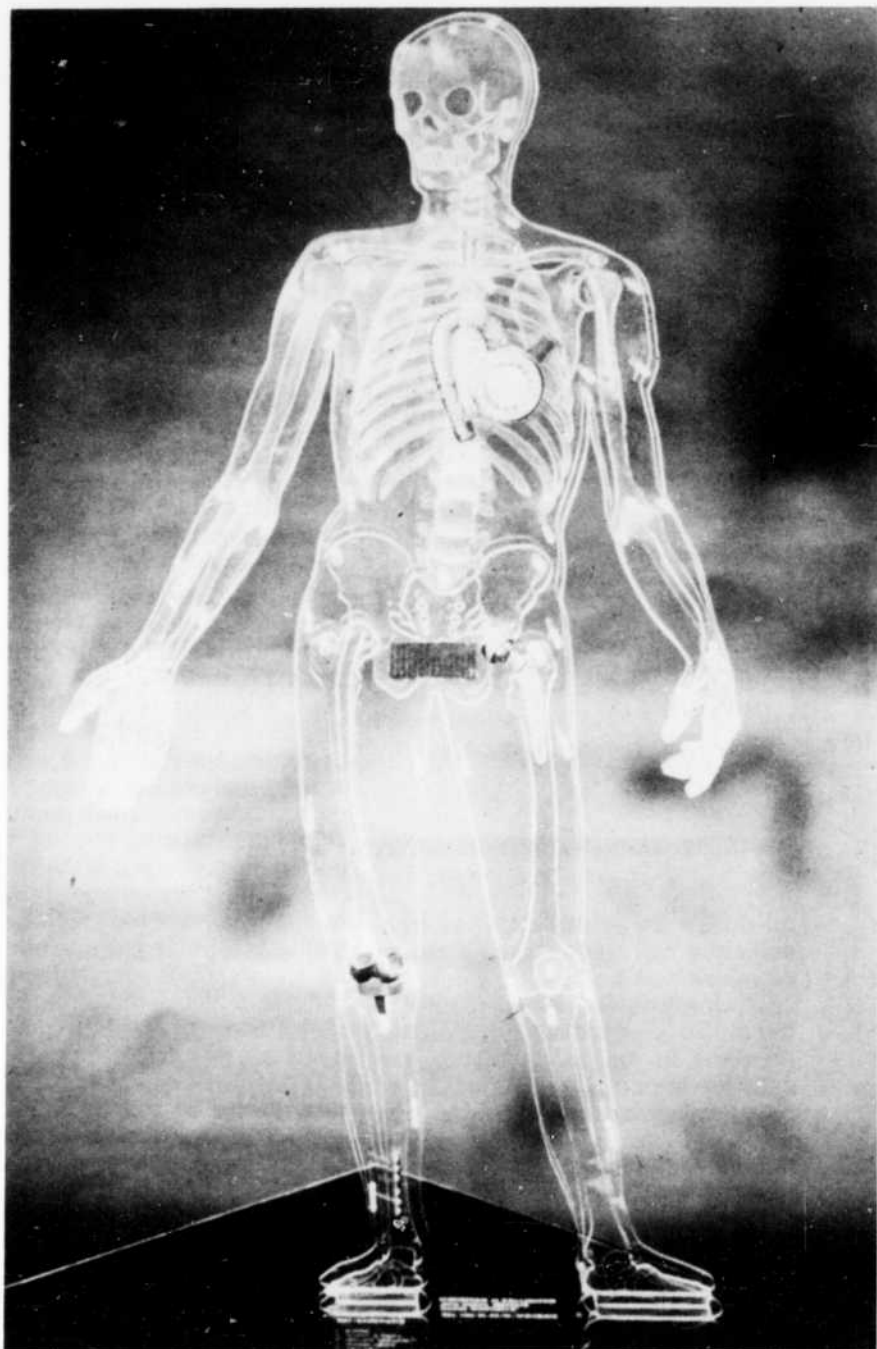
Usiner des cristallins dans la masse

La CFAO sert également à la confection d'implants oculaires, c'est-à-dire des cristallins artificiels. Une PME lyonnaise, les Laboratoires Domilens, est spécialisée dans la réalisation de ces pièces miniatures en plexiglass spécial PMMA, conçues sur des postes de CAO et usinées sur des micromachines à commande numérique. La précision atteint ici le micron et le polissage qui dure

huit jours en continu, et met en œuvre des machines spéciales brevetées à tonnelets tournants.

Cette technique du cristallin monobloc usiné présenterait d'indéniables avantages par rapport aux cristallins artificiels classiques proposés par les grandes firmes américaines Johnson & Johnson, Revlon, 3M.

Les perspectives de marché s'annoncent prometteuses, notamment à l'exportation: on pose environ 400000 cristallins artificiels chaque année aux États-Unis. Déjà



l'entreprise détient 30% du marché français, 30% en Italie et 80% en Belgique. Elle propose une nouvelle génération d'implants pour remplacer le plexiglass par un biomatériau.

Signalons également la prothèse électrique pour l'oreille interne Prelco, destinée aux sourds profonds ne bénéficiant pas du secours des prothèses électroacoustiques classiques. Composée d'un implant cochléaire — placé dans le limaçon de l'oreille — d'un émetteur placé dans le pavillon et d'un boîtier portable miniaturisé, cet ensemble permet de rompre l'isolement intérieur du sourd et de l'alerter par la reconnaissance de quelques bruits familiers. Il sert aussi d'aide à la communication parlée, bien que la reconnaissance phonétique reste limitée.

... un gant dans lequel on place la main à rééduquer...

Des prothèses et orthèses de mains

La Société Vernier est le leader mondial de la fabrication de mains esthétiques, soit fonctionnelles avec un revêtement en PVC en cinq tailles, soit inertes en 55 tailles. Cette entreprise française travaille en collaboration avec la firme allemande Otto Bosch qui fabrique la structure mécanique de la main qui est ensuite habillée par Vernier.

De son côté la Société Artis, a lancé cette année une orthèse de main appelée Omerr. Il s'agit d'une sorte de gant articulé dans lequel on vient placer la main à rééduquer. Artis travaille actuellement à la mise au point d'une vessie gonflable de ventilation thoracique étudiée avec l'Inserm, et à la mise au point d'un obturateur d'anus artificiel qui pourrait intéresser près de 400 000 personnes en France.

Vers les biomatériaux résorbables

La bio compatibilité reste la principale préoccupation des chercheurs: après les polymères-composés pour les matériaux au contact avec le sang, les polymères-carbones pour ceux avec les structures osseuses, les travaux actuels s'orientent vers les bio-matériaux résorbables par l'organisme en un temps variable, entre 30 et 200 jours, ce qui supprime les problèmes de tolérance par la suite. Ce domaine encore étroit concerne des points de suture, peaux artificielles, pansements, implants osseux.

La grande famille des biomatériaux

C'est un «ensemble de matériaux solides, insolubles ou solubles, dégradables ou non, susceptibles d'être utilisés comme implants chez l'homme ou au contact des structures biologiques». Ce sont donc des matériaux destinés à remplacer une cellule, un tissu, un organe, une fonction.

Leur classification «officielle» est toutefois plus large. On distingue ainsi six classes selon leur usage:

- Produits destinés à une implantation de longue durée dans le tissu humain: prothèses artérielles, dentaires, de membres (hanche, genou...) et d'organes (cœur, sein, organes sexuels,...);

... instruments et équipements utilisés pour les actes chirurgicaux...

- Produits destinés à un contact prolongé avec des muqueuses ou des tissus conjonctifs: (lentilles de contact, substituts du sang);

- Produits utilisés pour obtenir ou administrer par voie intradermique ou veineuse des solutés ou produits sanguins: seringues, poche à sang, cathéters...;
- Produits utilisés pour la fermeture des plaies destinés à demeurer plus ou moins longtemps dans l'organisme ou à sa surface: pansements, bandes plâtrées, colles et adhésifs médico-chirurgicaux...;
- Enfin, instruments et équipements médicaux utilisés pour les actes chirurgicaux, le diagnostic ou les soins: gants, clamps, clips, forceps, spéculums, tubes et boîtes d'analyses, champs opératoires...

... une résistance à la bio-dégradation et à la corrosion...

Quant au Cahier des Charges imposé à ces produits par les services du Ministère français de la Santé, il comprend généralement trois séries de critères:

- Propriétés spécifiques du matériau: adéquation du matériau à la fonction (impermeabilité, souplesse, adaptation à la forme, stabilité thermique pour la stérilisation...);
- Influence du milieu biologique: résistance à la bio-dégradation, à la corrosion chimique, aux sollicitations mécaniques...;
- Effets sur le milieu biologique: ces matériaux ne doivent pas contenir ni libérer des substances toxiques, provoquer de réactions allergiques ou inflammatoires, ne doivent pas être cancérogènes, provoquer la coagulation du sang ou de modifications de la structure cellulaire.

Utilisation de la fibre de verre dans les structures du réseau extérieur

N. Healy

Généralités

Il y a déjà plusieurs dizaines d'années que la fibre de verre est utilisée dans diverses industries notamment dans le domaine de l'aviation, de la médecine, de l'automobile, de la construction, de l'alimentation électrique et, maintenant, dans les télécommunications. On décrit généralement la fibre de verre comme un matériau flexible et ininflammable constitué de filaments de verre torsadés, utilisé dans les textiles, l'isolation, etc.

Les matériaux renforcés de fibres de verre que l'on trouve sur le marché aujourd'hui allient les derniers progrès technologiques dans le domaine des résines légères à la solidité bien connue de la fibre de verre. Le matériau mixte qui en résulte résiste à la corrosion et offre le rapport voulu résistance élevée / poids tellement important pour répondre à nos besoins en tant que compagnie de téléphone. Le présent article rend compte des plus récentes applications de la fibre de verre dans les structures du réseau extérieur de Bell Canada.

Poteaux de Verre

Les poteaux fabriqués avec de la résine polyester renforcée de verre (GPR) sont relativement nouveaux au Canada mais sont déjà largement utilisés en Europe depuis plusieurs années dans les installations d'éclairage et de services publics. Ces poteaux ont un rendement mécanique élevé et sont fabriqués par la méthode moderne de coulée centrifuge.

L'intérêt de Bell Canada pour les poteaux renforcés de verre s'est manifesté au début de 1986 lorsque de la documentation technique nous est parvenue d'Europe. Il est vite devenu évident que ces poteaux présentaient des avan-

tages certains dans endroit où il n'était pas nécessaire de grimper aux poteaux. La légèreté de ces poteaux creux font qu'ils sont faciles à transporter et à installer. Ses autres caractéristiques comprennent notamment sa résistance élevée à la corrosion, aux rayons ultra-violet et aux chocs, ses qualités isolantes exceptionnelles, sa longue durée de vie et le fait qu'ils ne requièrent aucun entretien.

Bell Canada vient de recevoir d'Italie six poteaux en fibre de verre de 10m de long aux fins d'évaluation. Le coût de ces poteaux se compare aux poteaux de

visionnement aux États-Unis qui pourraient rendre l'utilisation de cette technologie plus intéressante du point de vue économique.

Une évaluation technique des poteaux est prévue pour novembre 1986 afin d'en vérifier la solidité et examiner les possibilités d'utilisation. Les accessoires qui iraient sur ces poteaux sont également en train d'être mis au point. Les résultats préliminaires de l'évaluation devraient être prêts au début de 1987.

Échelles de Fibre de Verre

À Bell Canada, on utilise des échelles de fibre de verre depuis trois ans. Bien connues pour leurs bonnes performances mécaniques et le peu d'entretien qu'elles requièrent, ces échelles légères sont supérieures aux échelles de bois dans bien des circonstances. Leur durée de vie dépasse 7 ans et elles sont particulièrement solides.

Les échelles coulissantes sont appelées «Add-On Extension Lad-

... des échelles légères dont la durée de vie dépasse sept ans...

bois si l'on ne tient pas compte des frais de transport. Nous examinons présentement d'autres sources d'appro-



Figure 1 Poteau creux en résine polyester renforcée de verre destinée aux compagnies de téléphone.

M. N. Healy est ingénieur au développement technologique à la société Bell Canada.

ders» à Bell Canada. Jusqu'à ce jour, la grandeur standard de ces échelles était de 24 pi, avec deux sections de 10 pi et une section amovible de 4 pi. Ces échelles sont ordinairement utilisées sur les petites camionnettes et fourgonnettes d'installation et réparation.

Pour répondre plus efficacement aux besoins quotidiens de nos techniciens, il est apparu qu'il fallait équiper d'échelles de fibre de verre de 28 pi les camionnettes du groupe Installation et Réparation et du groupe des Travaux,

... une tige d'ancrage résistante à la corrosion galvanique et électrolytique...

ainsi que les fourgonnettes d'épisage. Au début de 1986, on a donc fait, avec le concours du groupe de l'installation et réparation, une évaluation technique de cette échelle constituée de deux sections de 12 pi et d'une section amovible de 4 pi. Ces travaux d'évaluation ont pris fin récemment et, comme la réponse s'est révélée très favorable, ces échelles ont été normalisées dans les deux Régions en août 1986.

À l'heure actuelle, on procède à l'évaluation technique de l'échelle de 28 pi destinée aux camions du groupe des Travaux. On a distribué un total de 10 échelles dans cinq centres de travail de l'Ontario afin d'évaluer l'aspect technique et l'utilisation

de ces échelles. On peut facilement monter ces dernières sur les véhicules du groupe des Travaux. Comme on prévoit que cette évaluation sera terminée d'ici novembre 1986, la normalisation de cette échelle pour le groupe des Travaux devrait avoir lieu au cours du 1^{er} trimestre de 1987.

Tiges d'Ancrage en Fibre de Verre

Au début de 1985, un fournisseur américain a mis sur le marché une tige d'ancrage résistante à la corrosion galvanique et électrolytique; cette réaction se produit souvent lorsque les tiges d'ancrage sont utilisées dans des sols alcalins ou acides. À cette occasion, Bell Canada a entrepris une recherche sur les tiges servant aux ancrages à vis posées mécaniquement (PISA), afin d'examiner si elles pouvaient remplacer les tiges de prolongation et les haubans (PI) standard d'acier forgé. Une analyse économique d'un système à 1 hauban a également

... une résistance à la tension minimum de 23 000 livres...

été ajoutée, de même qu'un sommaire des tests de laboratoire effectués sur les tiges pour l'assurance de la qualité.

La tige d'ancrage est faite de fibre de verre recouverte d'une couche de polyuréthane et d'ac-

cessoires d'extrémité en fer galvanisé et époxy maléable. Cette tige peut être utilisée à la place de la tige d'acier PISA de $\frac{3}{4}$ po de diamètre utilisée sur des moyeux carrés de 1 $\frac{1}{2}$ po et des raccords filetés de 1 po. La tige possède une résistance à la tension minimum de 23 000 livres et est offerte dans les longueurs de 7 pi et 3 $\frac{1}{2}$ pi.

... le principal désavantage est le coût...

La principale cause de la corrosion des tiges de hauban est le passage de courants continus (c.c.) vagabonds dans nos haubans non isolés, courants qui se déchargent à la terre par le biais de la tige ou de l'ancre. Précisons que la principale source de courant continu vagabond est liée à l'utilisation par les compagnies de pipe-line de redresseurs à protection cathodique pour restreindre la corrosion dans leur propre réseau. Par conséquent, la pose d'isolateurs à tous les haubans est donc devenue une pratique courante à Bell Canada afin d'enrayer la corrosion des tiges de hauban. Il faut également procéder ainsi en Ontario pour les lignes à usage commun. Au Québec, comme le réseau à usage commun est complètement relié à la terre, on n'a pas à utiliser d'isolateurs d'arrêt.

Le principal désavantage de la tige d'ancrage en fibre de verre est son coût. Si le fournisseur américain ne peut abaisser à un niveau concurrentiel le coût de ces tiges, on ne recommandera pas l'utilisation de ces dernières à Bell Canada. Si les tiges d'ancrage en fibre de verre avaient pu être utilisées à un coût raisonnable, elles auraient éliminé la nécessité de poser des isolateurs d'arrêt dans les réseaux de haubans. On utilise des isolateurs d'arrêt en porcelaine pour empêcher le passage d'énergie électrique entre les sections de toron de 6M, 10M, 16M et 25M équipés de prises préformées.



Figure 2 Camion de monteur de ligne avec échelle de fibre de verre fixée au véhicule. L'échelle de bois de 28 pi. est sur le sol.

Poteaux téléphoniques et véhicule d'entretien des voies ferrées

Une nouvelle technique dont on dit qu'elle améliore radicalement la fabrication et l'utilisation des poteaux téléphoniques, des pylones électriques, et autres piliers, a été introduite en Suède. La méthode, peut produire des pôles pesant un cinquième seulement du poids des poteaux ordinaires. Un certain nombre de brevets ont été accordés ou sont en attente.

Ces nouveaux poteaux sont fabriqués à partir d'une tôle de qualité au choix. Ils sont traités dans un laminoir spécial qui leur applique des cannelures, leur donnent une forme tubulaire et une forme conique en second lieu, et procèdent à une soudure par joint et au tronçonnage des poteaux en longueur voulues. En tôle perforées, il ont un poids très léger, on évite la condensation et il est possible d'y grimper avec des chaussures d'escalade. Les poteaux fabriqués dans des matériaux comme l'aluminium ou des tôles d'acier ordinaire peuvent être traités en surface sans que la surface soit endommagée par le laminoir.

D'autre part, un véhicule d'entretien des voies ferrées, pour travaux sur les lignes électriques aériennes y a été mis au point. Il peut se déplacer d'un point à l'autre à partir de la grue aérienne — même lorsque cette dernière est à 10 mètres au-dessus du sol.

Le contrôle de la grue se fait au moyen d'un moteur hydraulique à transmission hydrostatique variable. Ce moteur est d'une grande souplesse grâce à l'utilisation d'un piston sphérique.

Ce nouveau véhicule d'entretien est basé sur un camion ordinaire. Cela réduit les coûts qu'un véhicule fait sur mesure serait bien plus cher. Il se fait en deux versions de base, pour rouler sur rails uniquement, ou bien sur rails et sur une route ordinaire.



Y'a long-temps qu'on s'est vu !

Vous avez suivi votre cours d'ingénierie à l'École Polytechnique ?

Saviez-vous que votre coopérative étudiante compte maintenant une succursale informatique et une librairie scientifique qui n'ont rien à envier aux magasins de détail conventionnels ...

Au contraire, le service est toujours notre principale priorité et nos prix sont très compétitifs.

À bien y penser ... qui connaît vos besoins aussi bien que nous ?

- Vous n'avez jamais adhéré à votre coop, il n'est jamais trop tard pour bien faire ...
Carte de membre à vie: 11,00 \$.*
- Vous avez égaré votre carte de membre. Nous serons heureux de vous en produire une autre pour la modique somme de 5,00 \$.*

succursale informatique
5000 Jean-Talon ouest
(près de Décarie, métro Namur) 340-4487

Librairie scientifique
École Polytechnique, 340-4851

 **télé-membre**
340-4851

coopoly

Nos entreprises en marche

Pétromont se modernise

Le 5 décembre 1986 Pétromont célébrait l'inauguration de deux nouveaux moteurs électriques qui permettront à l'usine pétrochimique de Varennes d'optimiser son rendement énergétique et d'améliorer du même coup sa performance globale. L'arrivée de ces moteurs marque la réalisation de la première phase du programme de modernisation et de diversification entrepris par cette entreprise.

En présence de M. Robert de Cotret, président du Conseil du Trésor et président du Comité ministériel sur le développement de la région de Montréal, et de M. Daniel Johnson, ministre de l'Industrie et du Commerce du Québec, monsieur Lapalme, président de Pétromont a déclaré que «cette réalisation concrète indique clairement que Pétromont est solidement engagée sur la voie de la rentabilité».

Économie d'énergie de 75 p. cent

D'une puissance de 20 000 chevaux-vapeur chacun, les deux nouveaux moteurs électriques à vitesse variable permettront à Pétromont de réaliser des économies d'énergie de 75 p. cent annuellement, soit environ 10 millions \$.

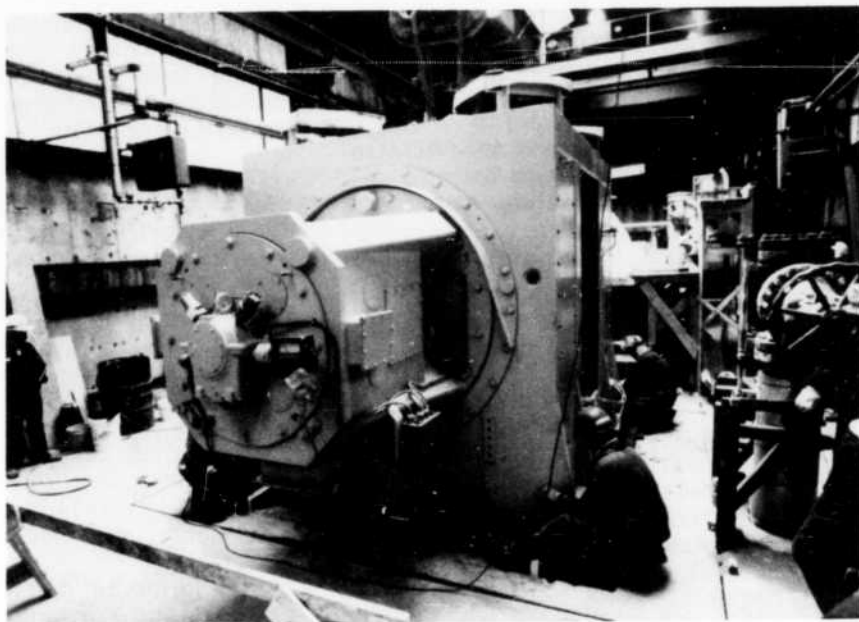
Construits spécialement pour l'usine de Varennes par la firme allemande Siemens à partir d'une technologie d'avant-garde, ces nouveaux moteurs remplacent les deux anciennes turbines à vapeur pour le processus de craquage des gaz et de réfrigération.

Ce programme de modernisation comprend également le jumelage des moteurs à un tout nouveau système de commande par ordinateur qui permet maintenant d'optimiser le craquage des alimentations et tirer le maximum de valeur des produits.

Une première signée Pétromont et Hydro-Québec

L'installation de ces deux puissants moteurs au service de la pétrochimie ouvre la porte à l'introduction au Québec, voire au Canada, d'une nouvelle technologie de pointe jusque-là inconnue.

Il s'agit d'une première pour Pétromont, mais aussi pour Hydro-Québec qui doit livrer quelque 34 mégawatts annuellement aux fins d'alimentation des moteurs. Pour fournir cette charge additionnelle, Hydro-Québec a dû construire une nouvelle ligne électrique de 1,3 km sur portiques de bois, à une tension de 230 kV. Pour les deux entreprises, c'est un grand pas en matière d'électrotechnologies.



Les deux nouveaux moteurs électriques fabriqués par Siemens permettront à l'usine pétrochimique de Pétromont à Varennes de réaliser des économies d'énergie de 75 p. cent annuellement.

À pleine capacité

Dans le cadre de ce programme de modernisation, rappelons que Pétromont transfère ce mois-ci la production d'éthylène de l'usine de Montréal-Est à celle de Varennes, augmentant ainsi sa capacité de production à plus de 95 p. cent.

L'usine de Varennes possède maintenant une base solide et sa stabilité d'opération assure tous ses clients d'une sécurité d'alimentation en matières pétrochimiques primaires.

Monsieur Lapalme a enfin rappelé le caractère indispensable des contributions versées par les gouvernements du Québec et du Canada pour la relance de Pétromont. Monsieur Lapalme a également souligné qu'au-delà des sommes engagées, l'énoncé de politiques qui accompagnait la décision du cabinet fédéral en décembre 1985 confirmait Montréal comme centre pétrochimique et l'inscrivait comme partenaire à part entière de la stratégie industrielle canadienne dans ce secteur d'activités. Cet engagement a certes contribué à consolider le développement des relations entre Pétromont dont relèvent plus plus de 1 000 emplois directs et ses nombreux partenaires de l'industrie.

Projet Soligaz pour l'approvisionnement de Montréal en liquides de gaz naturel

Soligaz, un consortium formé en avril 1986 par Soquip, Gaz Métropolitain, le Groupe SNC et Alberta Natural Gas se propose de mettre en place à Montréal un système d'approvisionnement en liquides de gaz naturel, principalement du butane et du propane. Déjà, à l'été de 1985, Soquip avait fait état de ce projet d'approvisionnement de LGN par pipeline de l'Ouest canadien jusqu'à Montréal. La formation du consortium a donc permis de constituer un groupe de travail permanent chargé de voir à la réalisation du projet.

Ce projet qui nécessitera des investissements de l'ordre de 250 millions \$ comprend la construction dans l'Est de Montréal

d'une usine de fractionnement, dont l'ouverture est prévue pour 1989, avec tout l'équipement périphérique nécessaire pour la ligne de transport d'Edmonton jusqu'à Montréal. Le système de transport comprendrait également des aires de stockage le long de l'oléoduc à Edmonton, Superior (Wisconsin) et Sarnia.

Le projet repose par ailleurs en grande partie sur la conversion de l'oléoduc de la société Pipeline Interprovincial Limitée entre Sarnia et Montréal pour que celle-ci puisse transporter, en plus du pétrole, des mélanges de liquides de gaz naturel. Pétromont a d'ailleurs entrepris un programme de

conversion de son usine de Varennes pour pouvoir s'alimenter en liquides de gaz naturel. À la fin des travaux prévus pour octobre 87, l'usine pourra recevoir et transformer jusqu'à 16 000 barils de propane par jour, contre 1 000 barils actuellement. Cette phase II du programme de diversification permettra à l'usine de Varennes de choisir ses matières premières selon les marchés et de s'alimenter, au besoin, pour plus de 75 p. cent en liquides de gaz naturel.

Les marchés initialement visés par Soligaz représentent des volumes de 3 200 m³ de LGN par jour répartis entre le Québec, l'est de l'Ontario, les Maritimes et le

nord-est des États-Unis. Pétromont sera l'un des principaux clients de ce projet, soit environ 30 p. cent de la production de Soligaz.

On évalue à 500 le nombre d'emplois créés par le projet Soligaz au cours des trois années que dureront les travaux de construction. Par la suite, environ 70 emplois permanents seront requis pour l'exploitation de l'usine de fractionnement.

Le projet Soligaz favorisera le maintien et le développement du centre pétrochimique de Montréal, qui emploie directement et indirectement plus de 12 000 personnes.

Liste des articles parus en 1986

Janvier-Février

L'ingénieur et la qualité *par Joseph Kélada*

La gestion de la qualité, racines, évolution et avenir *par Pierre Caillibot*.

Les groupes d'excellence chez IBM *par Nelson Dumais*.

Pour améliorer la qualité: le facteur Z *par Werner Bernhardt*.

L'assurance de la qualité en soudage *par Michel Caron*.

La qualité et la normalisation industrielle au Québec *par The-Hien Darg Vu*.

Le contrôle de la qualité par essais non destructifs *par Gérard Landry*.

Qualité et réduction des coûts *par Liguori Lefebvre*.

Mars-Avril

Les engrenages coniques: simulation par ordinateur *par Claude Gosselin*.

Le génie industriel et la productivité *par Claude Benedetti*.

Les techniques de construction *par Paul-A. Brochu*.

Évolution des émissions de dioxyde de soufre au Québec *par R. Brulotte et D. Giguère*.

La responsabilité des ingénieurs et des architectes *par Henri Kélada*.

Des étudiants en génie de l'Université de Sherbrooke conçoivent une voiture innovatrice *par François Goulet*.

Mai-Juin

La F.A.O.: une nécessité *par Joseph A. Bouchard*.

Automatisme CAO-FAO et robotique *par Rinaldo Somenzi*.

La commande numérique *par Paul Marmion*.

Les automates programmables *par Roger Arbour*.

La robotique au Québec *par Michel Blouin*.

L'atelier flexible *par Louise Quesnel*.

Organisation cellulaire des ateliers *par Claude Olivier*.

Juillet-Août

Un tunnel sous la manche *par J.F. Gysel*.

Alizée: la voiture de demain la technologie visuelle au service de l'industrie *par Christine Couture et Denis Maranda*.

L'énergie thermique des océans *par Lyne Monastesse*.

Septembre-Octobre

Assurance de la qualité dans le génie conseil *par Paul Nagy*.

Les composites *par R. Gauvin et T. Vu-Khanh*.

Les systèmes à base de connaissances dans les organisations *par Bernard Moulin*.

Novembre-Décembre

La formation de l'ingénieur *par Jules Delisle*.

L'état actuel et le développement futur de la formation en génie au Canada *par Roland Doré*.

La recherche et formation de l'ingénieur *par Pierre Bélanger*.

La profession et la formation de l'ingénieur *par Gilles Perron*.

Les sciences humaines dans la formation des ingénieurs *par Jules Delisle*.

La formation de l'ingénieur: le point de vue d'un employeur *par André Boutin*.

À la recherche d'ingénieurs-auteurs

La revue l'Ingénieur encourage ses lecteurs à lui soumettre des articles dans les divers domaines du génie. En effet, elle se veut une tribune d'échange entre ingénieurs québécois; échange d'information sur des expériences vécues, sur le résultat de recherches entreprises, sur des préoccupations communes ou des problèmes qui cherchent une solution.

Objectifs de la revue:

Les principaux objectifs de la revue l'Ingénieur sont:

- de fournir un moyen de communication scientifique de langue française aux ingénieurs;
- de faire connaître les principaux aspects de la pratique de l'ingénieur dans les secteurs d'activités scientifiques et professionnelles;
- de favoriser la diffusion des travaux effectués dans nos universités et nos laboratoires de recherche.

Politique rédactionnelle:

La revue l'Ingénieur offre des articles de vulgarisation. Elle publie des numéros thématiques dont l'ensemble des articles porte sur un même sujet et des numéros d'intérêt général portant sur divers sujets d'intérêt pour les ingénieurs.

Tous les articles sont soumis au comité de rédaction et sont évalués, avant leur publication, par un comité de lecture constitué d'au moins trois évaluateurs.

La revue s'adresse à tous les ingénieurs d'expression française, quels que soient leur spécialité ou leur centre d'intérêt particulier. Les articles publiés sont donc d'intérêt général, rédigés de façon à ce que le texte soit à la portée de l'ensemble des lecteurs de la revue. Celle-ci publie, cependant, occasionnellement, des articles à contenu technique spécialisé qui ne s'adressent qu'à un nombre restreint de lecteurs, intéressés par un domaine particulier du génie.

Procédure à suivre par l'auteur qui désire soumettre un article

Pour faciliter le processus d'évaluation des articles et de production de la revue, certains points sont à considérer par l'auteur:

1- Il est recommandé à l'auteur d'utiliser le système métrique (international) et de n'inclure dans son article aucun élément de publicité.

2- L'article doit être un texte original de l'auteur, qui n'a pas été publié, fait l'objet de présentation publique ou fait partie d'un rapport spécifique. Si c'est le cas, l'auteur doit l'indiquer en soumettant son article.

3- L'auteur est responsable d'obtenir toute autorisation nécessaire pour des emprunts de textes substantiels (qui dépassent une dizaine de lignes), des tableaux ou des figures, couverts par des droits d'auteur et tirés d'autres publications que la revue elle-même.

4- L'article doit être dactylographié à double interligne, d'une longueur de 10 à 12 pages, incluant photos, graphiques et dessins. L'auteur doit indiquer clairement dans le texte l'emplacement de ces photos, graphiques et dessins dont les **originaux** seront mis en annexe. L'article doit être envoyé en trois copies.

5- Les dessins et les graphiques devraient être tracés à l'encre de chine sur papier à dessin. Ils seront, au besoin, réduits lors du montage.

6- L'article doit débuter par une introduction (deux paragraphes) qui explique les objectifs visés par l'auteur par cet article. Il doit aussi comporter une conclusion indiquant comment l'article a atteint les objectifs énoncés dans l'introduction.

7- L'auteur fournit des références et une bibliographie à la fin de l'article, pour permettre au lecteur intéressé d'approfondir le sujet s'il le désire et pour donner le maximum de crédibilité à l'article proposé. Celles-ci seront présentées comme suit:

Pour un livre:

Nom de l'auteur, titre du livre, éditeur, année de publication.

Ex.: Hébert, Jacques, *L'ingénieur de demain*, Éditions Universas, 1985.

Pour un article:

Nom de l'auteur, titre de l'article, revue ou publication, pages et date.

Ex.: Delage, Jean, *L'information du génie*, L'information, pages 7-13, novembre 1985.

8- L'auteur s'adresse à des ingénieurs de différentes spécialités, œuvrant à différents niveaux hiérarchiques; l'article doit donc porter sur un sujet pouvant intéresser directement l'ensemble des lecteurs. Comme indiqué plus haut, un nombre restreint d'articles techniques à contenu hautement spécialisé est publié occasionnellement.

9- L'article doit être accompagné de:

9.1- Un bref curriculum vitae d'une dizaine de lignes sur l'auteur, sa formation, son expérience, son poste et titre actuels.

9.2- Un titre et un résumé en langue anglaise de 15 à 20 lignes de l'article.

10- La revue se réserve le droit de ne pas publier un article qui lui est soumis. Dans quel cas, l'auteur en est informé.

11- L'auteur accepte que les responsables de la revue apportent à son article des changements éditoriaux et des modifications linguistiques, si nécessaire. Les modifications de fond suggérées par les évaluateurs sont la responsabilité de l'auteur; elles sont faites par lui-même dans les délais suggérés.

12- Les auteurs ne sont pas rémunérés. Ils reçoivent un certain nombre d'exemplaires de la revue, lors de la publication de leur article.

13- L'auteur doit tenir compte que la revue peut permettre la reproduction d'un article qui y a paru, dans toute autre publication qui en fait la demande, à la condition que celle-ci en mentionne la source. Aucune autorisation préalable de l'auteur n'est alors requise.

14- L'Engineering Index, Biolo., Chem., Sci. Abstracts, Periodex et Radar signalent les articles publiés dans l'Ingénieur.

Dix réalisations exceptionnelles dans le domaine du génie canadien

C'est par la proclamation des dix réalisations exceptionnelles les plus représentatives de son histoire que le génie canadien a marqué le lancement de son Centenaire, une année faste, en gestation depuis de longs mois dans tous les comités de la Commission du centenaire de l'ingénierie!

Six des réalisations lauréates touchent directement ou indirectement le secteur des transports et des communications, ce qui n'a rien d'étonnant dans un vaste pays comme le nôtre, jadis presque entièrement à construire et maintenant ouvert sur le monde entier. Trois autres relèvent du domaine de l'énergie, alors qu'une représente l'industrie des produits de synthèse. Le choix n'a pas été facile, mais tous s'accorderont sur le caractère éminemment remarquable des réalisations mises ainsi à l'honneur.

Des réalisations grandioses

Il s'agit du développement du réseau de chemins de fer au Canada; de l'aménagement de la voie maritime du Saint-Laurent; du DCH-2 Beaver, petit avion construit par la société De Havilland Aviation du Canada Ltée; du satellite Alouette I; de la motoneige Bombardier; de la construction de lignes de transport de haut voltage de la Baie James par Hydro-Québec; de Syncrude et l'exploitation des sables pétrolifères en Alberta; du programme canadien d'énergie atomique: le réacteur CANDU (Canada-Deutérium-Uranium) et le système nucléaire de production de vapeur; de la construction du plus grand réseau de transmission hertzienne au monde et des installations industrielles de la société Polymer, à Sarnia, en Ontario.

Tous les ingénieurs canadiens avaient été invités par la Commission du centenaire de l'ingénierie à mettre en nomination leur sélection des réalisations les plus significatives de la profession au pays.

Un jury hautement qualifié

C'est un jury de huit membres. En effet, Chaque réalisation

devait avoir contribué de façon significative au développement de l'ingénierie et à l'amélioration de la vie économique et sociale des Canadiens. Chacune devait avoir joué, à son époque, un rôle de catalyseur de changements économiques et sociaux importants et être le fruit d'efforts d'organisation et de gestion hors du commun. Replacée dans son contexte, chacune devait avoir démontré son caractère original, ingénieux, créateur et véritablement unique, et avoir fait l'objet d'une reconnaissance internationale. Jetons maintenant un coup d'œil sur chacune de ces réalisations exceptionnelles.

Le développement du réseau de chemins de fer au Canada

«Tout le monde à bord vers le Pacifique!» lança William Cornelius Van Horne, directeur général du Pacifique Canadien. Nous sommes en 1885. Il n'aura fallu que quatre ans, et non pas dix, comme on l'avait cru, pour parachever cette entreprise gigantesque, unique dans les annales du génie canadien. La nature et l'ampleur des problèmes de logistique se mesuraient à coups de pelles et de pioches, un jour à la fois...

En 1881, il reste à relier les deux chantiers d'Ontario et de Colombie-Britannique. Intempéries, moustiques, relief, forêts vierges sont loin d'être les seuls obstacles. Il y a la politique: prouver au gouvernement fédéral le bien-fondé de cette entreprise, c'est jouer l'existence même du Canada. La Colombie-Britannique et les Prairies hésitent entre la facilité des communications nord-sud et les difficiles relations est-ouest, encore à bâtir.

Un véritable pays avec des frontières reconnues allait naître de cette réalisation magistrale que fut le développement du réseau de chemins de fer au Canada. Des industries, des villes vont jaillir tout le long de la voie ferrée. Le télégraphe suivra à la trace. Les ports vont s'activer, les échanges avec l'Orient et l'Europe se multiplier, l'immigration s'intensifier.

La folie de quelques ingénieurs venait de créer un pays à l'échelle d'un continent.

Aller au cœur du continent avec l'aménagement de la voie maritime du Saint-Laurent

Jacques Cartier l'avait rêvé... Malgré la Première Guerre mondiale, le gouvernement fédéral n'a cessé de croire en cette voie maritime déjà praticable, mais nettement insuffisante. L'histoire des relations canado-américaines connaît un laborieux chapitre à cet égard. De 1954 à 1960, des consultations entre toutes les parties intéressées allaient conduire à la mise en branle d'une performance sans égale à l'époque.

Ponts, tunnels, caissons hydrauliques, écluses, canaux, barrages, voies de chemins de fer et routières: que de travail à abattre pour réaménager quelque 563 km de voie d'eau, de Montréal au Lac Érié! Plus de 20 000 personnes, dont 500 ingénieurs, auront travaillé avec acharnement à cette tâche monumentale, des deux côtés de la frontière.

Les investissements s'élèveront à un milliard de dollars et deux millions de chevaux vapeurs d'électricité seront créés. Soixante-quinze pour cent de la marine marchande de cette époque a enfin accès au cœur même du continent américain.

La voie maritime du Saint-Laurent permet de franchir 3 700 km à l'intérieur des terres, à 182,88 m au-dessus du niveau de la mer. Reconnue mondialement comme l'une des plus importantes, elle voit le transport de plus de 50 millions de tonnes de marchandises, en huit mois et demi de saison navigable.

Merveille d'ingénierie et réussite économique, elle défie tous les autres modes de transports.

La polyvalence par excellence: le DCH-2 Beaver, petit avion construit par la société De Havilland Aviation du Canada Ltée

À l'image de notre emblème, il est solide et tenace, ce «castor» qu'on dirait destiné à l'immortalité! Alors que plusieurs modèles d'avion sont déjà dans les musées,

ce petit chariot volant de 1 600 kg circule toujours.

Juste après la guerre, une équipe d'ingénieurs s'affaire à définir de nouveaux concepts pour la construction d'un avion de brousse en métal. Une carcasse d'acier, des châssis d'aluminium, des panneaux et des portes à l'avant, de construction monocoque à l'arrière, des ailes haubanées de grande envergure avec, en plus, des volets à fente et des ailerons inclinés: voilà qui est plutôt révolutionnaire à l'époque!

En 1947, 15 appareils sont fabriqués et vendus au Canada. Solide, au train d'atterrissage robuste et au fuselage angulaire sur les côtés, le Beaver peut recevoir six personnes à bord, plus le pilote. Fonctionnel comme cargo, cet appareil a fait ses preuves sur tous les terrains. Il se prête à toutes sortes d'usages et s'avère utile aussi bien à des fins sportives que militaires.

En 1968, 1 692 Beaver avaient été construits sur les chaînes de montage. La réputation internationale de cette petite merveille en fait un symbole de l'ingéniosité des ingénieurs.

Le satellite Alouette I: le Canada en orbite

Le Canada possède maintenant son propre système de télécommunications par satellite. Mais en 1959, lors de la conclusion d'un accord avec les États-Unis, le pari est loin d'être gagné.

Cette année-là, la NASA s'engage à lancer un satellite conçu, mis au point et assemblé au Canada. Le 29 septembre 1962, l'Alouette I entreprend une odysée spatiale qui allait, pensait-on, durer une année; l'expérience s'étendra sur dix ans!

L'étude de l'influence de l'activité solaire sur l'ionosphère et les télécommunications permettra l'acquisition d'une expérience inestimable dans la conception, la construction et l'exploitation des engins spatiaux et de leurs sous-systèmes.

La mission principale d'Alouette I consiste alors à balayer l'ionosphère d'ondes radioélectriques à des fréquences variées, de façon à établir, en quelque sorte, une carte radar. Il doit également mesurer la réflexion de ces ondes par

les couches de particules chargées. Le dispositif comprend deux antennes spéciales mesurant respectivement environ 46 et 23 m, les plus longues jamais installées sur un véhicule spatial.

Le satellite doit aussi mesurer le bruit cosmique, écouter les ondes radiophoniques à basse fréquence et compter le nombre de particules chargées qui l'entourent.

Le prolongement de ces recherches allaient entraîner la signature de nouveaux accords et le lancement d'une série de satellites internationaux dans le cadre du programme ISIS visant à effectuer d'autres types de mesures de l'ionosphère.

Le perfectionnement des instruments utilisés allait démontrer la compétence de l'industrie canadienne dans le domaine de l'espace et la promettre à un brillant avenir.

La motoneige Bombardier, puisque mon pays, c'est l'hiver...

Même si l'on rêve de l'espace et de voyages interplanétaires, il est primordial de garder solidement les deux pieds sur notre bonne vieille terre et de trouver des façons pratiques et agréables de vivre l'hiver. Après 30 années de recherche, Armand Bombardier réussissait à faire de la neige et du froid de séduisants alliés.

De 1927 à 1935, diverses expériences conduisent à une étape décisive: l'utilisation, pour la première fois, d'une roue de commande dentée, recouverte de caoutchouc, ce qui aboutira à l'obtention et à la mise en application d'un brevet pour les chenilles, le mécanisme de suspension et la roue de commande d'un véhicule nouveau genre.

Ce n'est cependant qu'en 1959 qu'apparaît le «scooter des neiges», comme on le désigne parfois outre-atlantique. Un châssis d'acier, une chenille de 15 pouces de large en caoutchouc moulé, des skis de bois, un moteur avant de 7,5 c.v. et des guidons: le SKI-DOO est lancé!

Transformation des moteurs et des suspensions, transmission à vitesse variable, fabrication par injection de capots en polycarbonate, réduction importante du nom-

bre de décibels, création de nouveaux procédés de fabrication, amélioration de matériaux et de produits existants: voilà l'acquis que représente l'invention de ces petites machines légères, silencieuses, robustes et résistantes.

Le mode de vie des Inuit et des Lapons en a été profondément modifié. Et l'industrie touristique en a pleinement profité!

Sons et images d'un océan à l'autre, par la création du plus grand réseau de transmission hertzienne au monde

Depuis juillet 1958, le réseau de micro-ondes construit à la demande de la société Radio-Canada représente l'épine dorsale de notre système de télécommunications d'un océan à l'autre. Sept membres du Réseau de Téléphone Trans-Canada ont réalisé cette ligne de transmission hertzienne qui est la plus longue au monde.

En trois ans, 139 tours de 9,14 m à 106,68 m de haut sont érigées sur un parcours de 6 276 km entre Sydney (N.-É.) et Victoria (C.-B.). Situées à 48 km de distance, ces sentinelles d'acier doivent assurer la diffusion d'images et de sons sans aucune distorsion. Des lignes adjacentes, ainsi que celle qui rejoint Terre-Neuve, sont ajoutées à ce circuit.

L'édification de ces centres de relais pose d'épineux problèmes d'infrastructures et de résistance aux conditions climatiques et atmosphériques. Le repérage des sites, la construction des voies d'accès qui va parfois jusqu'à se faire par téléphérique, l'assemblage des tours provisoires en aluminium pour la vérification de la réception des ondes et, finalement, l'érection des tours permanentes en acier galvanisé: autant de démarches et d'opérations qui supposent la mise en œuvre de moyens impressionnants. Les coûts atteignent 50 millions de dollars.

L'expertise canadienne en la matière jouit de ce fait d'une reconnaissance internationale. Sa participation à l'élaboration du réseau de micro-ondes PANAFTEL reliant l'Afrique francophone et Paris en est un exemple probant.

La construction du réseau de lignes de transport de haut voltage de la Baie James par Hydro-Québec: que la lumière soit!

L'envergure des travaux de construction de ce réseau, entrepris dès 1976, mérite notre plus grande considération.

Cet impressionnant système de transport de 10 000 mégawatts depuis le complexe de la Baie James sur la Grande Rivière vers l'ensemble du territoire du Québec par cinq lignes de tension de 735 000 volts totalise 5 500 km et compte 11 650 pylônes, espacés en moyenne de 470 m.

Ces lignes sont doublées de deux réseaux de télécommunications à l'intérieur desquels 58 postes assurent la protection et la télécommande. À cela, s'ajoutent 19 postes de manœuvre et de transformation qui contrôlent la tension des lignes et en facilitent l'entretien.

Le transport de courant alternatif à une tension aussi élevée posait d'épineux problèmes. Le choix du palier de tension a été déterminé en fonction du prix de revient minimum de l'énergie au point de livraison, de la limitation d'appareillages auxiliaires, de l'évitement d'accidents, de l'assurance d'un approvisionnement constant en électricité et de la facilité de l'intégration aux réseaux actuels et éventuels. Parallèlement à cette démarche, les intérêts particuliers des territoires parcourus devaient être respectés et leur environnement, protégé. La tâche était de taille.

Syncrude et l'exploitation des sables pétrolifères en Alberta: la ruée vers un nouvel or

L'exploitation à ciel ouvert de gisements de sables bitumineux à 435 km au nord d'Edmonton, près de Fort McMurray a fourni 243 millions de barils de pétrole brut synthétique et sans butane, depuis ses débuts, en 1979. L'objectif est de parvenir à une production de 140 000 barils par jour en 1989. La mine recouvre une superficie de 30 km². Unique au monde, sa

mise en exploitation aura coûté 2,3 milliards de dollars.

De 1974 à 1979, des travaux d'aménagement gigantesques ont été entrepris pour localiser les gisements, bâtir les infrastructures nécessaires à l'exploitation (reconstitution du sol, routes, barrages, déversoir, ponts, bâtiments) et l'édification de campements hébergeant les travailleurs au village de Mildred Lake.

L'instabilité du sol, les rigueurs du climat, les températures saisonnières variant de -50°C à +40°C, et la nature même du minerai, corrosif et collant, ont imposé la mise au point et l'utilisation d'équipement spéciaux, de constructions adaptées et de modes d'exploitation spécifiques. La complexité et le gigantisme des unités de transformation et de la machinerie employée dépassent l'imagination.

Dans l'avenir, nous devons faire appel aux résultats de ces recherches, pour les technologies de récupération. Les retombées sont toutefois immédiates, tant pour l'emploi que pour divers secteurs industriels. Les réserves de pétrole représentent, en cet endroit, un trillion de barils, soit de 30 à 50 pour cent des besoins du Canada pour le siècle prochain.

Le programme canadien d'énergie atomique: le réacteur CANDU (Canada-Deutérium-Uranium) et le système nucléaire de production de vapeur

L'alternative choisie face aux autres méthodes de production d'énergie s'est arrêtée, dès 1957, sur les systèmes nucléaires de production de vapeur avec utilisation de l'eau lourde. L'uranium naturel peut ainsi être utilisé grâce à la découverte de ce concept fondamental de l'économie de neutrons. Le fait de ne pas avoir à enrichir l'uranium et la simplicité technologique même des réacteurs CANDU rendent ce système idéal, exportable et fort économique pour la production d'énergie électrique.

L'Énergie atomique du Limite, l'Ontario Hydro et l'industrie privée ont permis, grâce à une collaboration hautement professionnelle et indéfectible, la mise en

œuvre et la commercialisation d'une expérience complexe, reliée à la situation particulière du Canada, et tributaire de plusieurs années de recherche et de coopération, dans les années 1940 et 1950, avec les États-Unis et la Grande-Bretagne.

Un grand souci de l'éthique professionnelle a garanti les plus hauts niveaux d'efficacité, de sécurité, de fiabilité et d'engagement face à la collectivité. Générant annuellement plus de 3,6 milliards de dollars dans les activités économiques du pays, l'industrie canadienne nucléaire s'avère l'une des plus sûres pour l'avenir du pays.

Un grand produit de synthèse, grâce aux installations industrielles de la société Polymer, à Sarnia, en Ontario

Polymer est une entreprise étonnante où l'utilisation et la commercialisation des technologies relatives au caoutchouc synthétique ont démontré l'efficacité d'une société de la Couronne en temps de guerre comme en temps de paix. Ce qui n'était qu'un simple souhait en 1942 est devenu réalité dès 1944: la production effective de caoutchouc synthétique.

Plus de 5 000 personnes et plus de 2 000 entreprises ont collaboré à la construction de cet immense complexe d'usines, d'entrepôts, d'ateliers, de bureaux, de laboratoires et de réservoirs. Des recherches actives se poursuivaient, en même temps, afin d'acquiescer les outils et les connaissances nécessaires à la création de produits commercialisables. Tout était à inventer.

Exposition itinérante des dix réalisations exceptionnelles

Les dix réalisations exceptionnelles du génie canadien au cours des cent dernières années feront l'objet d'une exposition itinérante qu'on pourra admirer au Vieux-Port de Montréal, du 18 mai au 8 septembre 1987, ainsi que dans divers musées et centres de sciences et d'ingénierie, d'un bout à l'autre du pays. Ce sera pour tous les Canadiens un véritable bain de fierté!

Centre de cours intensifs

CALENDRIER

		Coûts
• La protection légale des logiciels	10 avril 1987	225,00 \$
• Langage C	21, 22, 23 avril 1987	550,00 \$
• Systèmes experts	22, 23, 24 avril 1987	550,00 \$
• Les programmes tableurs: Lotus 1-2-3, Twin et VP-Planner	28, 29 avril 1987	450,00 \$
• Le génie du logiciel appliqué à la réalisation de programmes	29, 30 avril et 1 ^{er} mai 1987	550,00 \$
• Graphisme par ordinateur	29, 30 avril et 1 ^{er} mai 1987	550,00 \$
• Les micro-ondes et applications industrielles	29, 30 avril et 1 ^{er} mai 1987	515,00 \$
• Contrôle des systèmes industriels par micro-ordinateurs	5, 6, 7 mai 1987	550,00 \$
• Dessin assisté par micro-ordinateur (Logiciel: autocad)	5, 6, 7, 8 mai 1987	750,00 \$
• Le concept de gestion de projets	6, 7 mai 1987	425,00 \$
• Introduction à la micro-informatique	6, 7, 8 mai 1987	550,00 \$
• Statistique de base et introduction au contrôle de qualité	6, 7, 8 mai 1987	525,00 \$
• Lisp	12, 13 mai 1987	425,00 \$
• Le planning des projets	12, 13 mai 1987	425,00 \$
• Les éléments fondamentaux de la robotique	12, 13, 14 mai 1987	550,00 \$
• Symphony	13, 14, 15 mai 1987	550,00 \$
• Modélisation, identification en temps réel et commande adaptative des procédés industriels	19, 20, 21 mai 1987	550,00 \$
• Framework II	20, 21, 22 mai 1987	550,00 \$
• Utilisation de la méthode des éléments finis pour l'analyse mécanique des structures	20, 21, 22 mai 1987	595,00 \$
• Techniques statistiques du contrôle de qualité	21, 22, 23 mai 1987	525,00 \$
• La gérance des contrats	27, 28 mai 1987	425,00 \$
• Le contrôle des projets	2, 3 juin 1987	425,00 \$
• Technologie du laser et applications	2, 3, 4 juin 1987	525,00 \$
• Introduction à Prolog	2, 3, 4 juin 1987	550,00 \$
• Interfaçages d'un micro-ordinateur de type IBM-PC avec le monde extérieur	3, 4, 5 juin 1987	550,00 \$
• Conception des circuits VLSI	9, 10, 11 juin 1987	795,00 \$
• Micro-informatique et gestion de projets	9, 10, 11 juin 1987	550,00 \$
• d-Base III Plus	10, 11, 12 juin 1987	550,00 \$
• Les fibres optiques	15, 16, 17 juin 1987	550,00 \$
• La CAO dans la construction	15, 16, 17 juin 1987	550,00 \$
• Morphologie mathématique et vision par ordinateur	15, 16, 17, 18, 19 juin 1987	1 050,00 \$
• Le système CAO	16, 17, 18 juin 1987	495,00 \$
• Conception des schémas relationnels	17, 18 juin 1987	425,00 \$
• La simulation de systèmes à l'aide de GPSS-PC	17, 18, 19 juin 1987	550,00 \$

Demandez notre brochure pour informations supplémentaires: 340-4252.

École Polytechnique de Montréal



L'Université sollicite des candidatures aux postes suivants

**PROFESSEURS EN: GÉNIE GÉNÉRAL
GÉNIE INDUSTRIEL**

Postes offerts également aux femmes et aux hommes

Sous réserve d'approbation budgétaire, les postes susdits seront à combler à compter du 1^{er} juillet 1987. Lors de son engagement, le professeur à plein temps se voit attribuer un des rangs professoraux définis dans la convention collective selon sa formation et son expérience. Le traitement annuel est établi aussi selon la formation et l'expérience.

Les candidatures pourront être considérées dès leur réception et selon leur ordre d'arrivée. Toute candidature doit comporter un curriculum vitae détaillé avec le nom de trois (3) répondants et être transmise *au plus tard le 1^{er} avril 1987*.

GÉNIE GÉNÉRAL (Poste régulier)

Fonctions:

Enseignement et recherche aux niveaux du 1^{er} et 2^e cycles.

Formation:

PhD. ou l'équivalent. Les candidat(e)s possédant la maîtrise avec expérience pratique dans le domaine pourront être considéré(e)s. Les candidat(e)s devront posséder une formation en CAO/DAO et en ingénierie d'ordinateur appliquée dans le domaine du génie civil, industriel et mécanique. Maîtrise de la langue française tant orale qu'écrite.

GÉNIE INDUSTRIEL

Poste temporaire d'au moins six (6) mois. Sous réserve d'approbation budgétaire ce poste pourrait être transformé en poste régulier.

Fonctions:

Enseignement et recherche aux niveaux du 1^{er} et 2^e cycles.

Formation:

PhD. ou l'équivalent. Les candidat(e)s possédant la maîtrise avec expérience pratique dans le domaine pourront être considéré(e)s. Les candidat(e)s devront posséder une formation dans au moins un des domaines suivants: production et contrôle d'inventaire, planification, système humain, contrôle de la qualité, simulation, robotique et IAO/FAO. Maîtrise de la langue française tant orale qu'écrite.

Communiquer avec:

Monsieur Narendra Srivastava, directeur
École de génie
Faculté des sciences et de génie
Université de Moncton
Centre universitaire de Moncton
Moncton (N.-B.) E1A 3E9
Téléphone: (506) 858-4309

Conformément aux exigences relatives à l'immigration au Canada, ces postes sont offerts aux citoyens canadiens et aux résidents permanents seulement.

Centre universitaire de Moncton

répertoire
des
annonceurs

Bell Canada	C-4
Bouthillette, Parizeau	C-3
Conseil National de Recherches	C-2
Coopoly	24
Dufresne, Farley, Samson...	C-3
Géophysique G.P.R.	17
International Construction	C-3
La rapière	C-3
Lavalin Inc.	C-3
Les Laboratoires Industriels et commerciaux	C-3
SIAL — Cie Internationale de Géophysique	C-3
Université de Moncton	32



Conception... Construction... Procédé...
...pour tout bâtiment industriel

International Construction Consultant Corporation

GESTION D'INGÉNIERIE

Une filiale de:

BERTRAND GENDRON LTÉE
ENTREPRENEUR GÉNÉRAL

Division:
EXPANSION DES AFFAIRES
1, Place Ville-Marie, suite 2424
Montréal, QC, Canada
H3B 3M9
Tél.: (514) 331-1640
Télex: 055-61853

SIÈGE SOCIAL
999, rue De Salaberry
Montréal, QC, Canada
H3L 1L2
Tél.: (514) 331-1640
Télex: 058-25745

- **CONTRÔLE DES MATÉRIAUX**
- **ÉTUDES GÉOTECHNIQUES**
- **ANALYSES CHIMIQUES**

Tél.: 336-5650



Les Laboratoires Industriels et Commerciaux Limitée
190 Benjamin-Hudson, St-Laurent
Québec, Canada H4N 1H8

fondée en 1928

dufresne farley samson brillon

ingénieurs-conseils

Chauffage — Plomberie — Climatisation Réfrigération —
Électricité — Expertises — Études énergétiques

200 ouest, rue Sauvé, Montréal, H3L 1Y9

Tel. 384-0440

**ÉTUDES, INGÉNIERIE,
APPROVISIONNEMENT,
GESTION DE PROJET,
CONSTRUCTION**

Lavalin

Siège Social:
1100, boul. Dorchester ouest
Montréal, Québec H3B 4P3

BOUTHILLETTE PARIZEAU ET ASSOCIÉS

INGÉNIEURS-CONSEILS
MÉCANIQUE • ÉLECTRICITÉ
CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

9825 RUE VERVILLE
MONTRÉAL (QUÉ.) H3L 3E1
TÉLÉPHONE 514 383-3747

LES ASSOCIÉS
ANDRÉ DORÉ
DENIS ÉMOND
JEAN-GUY GAGNÉ
JULIEN HOULE
MICHEL POULIOT
PIERRE ROUSSEL
RENÉ VIAU

La Rapière

RESTAURANT FRANÇAIS

spécialités pyrénéennes

le confit d'oie, le cassoulet,
le jambon de Bayonne.

Table d'hôte lundi au vendredi:
midi à 15h. — 17h30 à 22h30
Samedi 17h30 à 22h30
Fermé le dimanche

Réservations : 844-P920
1490 rue Stanley,
(métro Peel, sortie Stanley)



SIAL

Compagnie Internationale
de Géophysique Inc.

- Etudes Géophysiques
- Hydrogéologie
- Vibration & Sismicité
- Géologie & Géochimie
- Exploration Minière
- Environnement

2225 Chemin Saint-François, Dorval,
Québec, Canada H9P 1K3

☎ : (514) 683-4215

• Télex : GTS HTD MTL
• 05-821643

Quand on *bureautique*, on communique.

Vie Économi

Augmentation spectaculaire du taux d'échanges

Combien de fois avez-vous tenté, sans résultat, de rejoindre un client ou un de vos employés? Combien de fois encore avez-vous attendu en vain un appel important? Pour vous aider à stopper tout ce gaspillage de temps, Bell Canada met à votre disposition le nouveau service de Messagerie vocale intégrée (MVI).

Constant

Le service MVI permet l'envoi, la réception et même le stockage de messages vocaux. En fait, avec le service de Messagerie vocale intégrée, c'est comme si vous étiez constamment en ligne avec vos interlocuteurs, 24 heures sur 24!

Automatique

Et si, par exemple, vous voulez envoyer le même message à plusieurs personnes à la fois, rien n'est plus facile avec le service MVI. Vous n'avez qu'à dicter vos messages et à identifier les destinataires. Le service de Messagerie vocale intégrée fera le reste, automatiquement. Ainsi, vous gagnez du temps... du temps que vous pourrez utiliser à des tâches beaucoup plus profitables.



Profitable

Voilà comment le service de Messagerie vocale intégrée peut vous aider non seulement à améliorer mais à augmenter les échanges d'informations entre votre personnel, vos clients et vos fournisseurs.

Voilà aussi comment la bureautique intégrée de Bell Canada peut vous aider à faire de meilleures affaires!

Pour connaître toutes les possibilités du service de Messagerie vocale intégrée, composez le 1 800 361-8728.

L'efficacité
passe par Bell

Bell